



**Alteração de fonte energética no aquecimento central e
produção de AQS numa unidade de cuidados continuados**

Sofia Guerreiro Freire

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Prof. Pedro Azevedo (FCUL)
Eng.^a Filipa Menezes (Blastingfm)



**Alteração de fonte energética no aquecimento central e
produção de AQS numa unidade de cuidados continuados**

Sofia Guerreiro Freire

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Prof. Pedro Azevedo (FCUL)
Eng.^a Filipa Menezes (Blastingfm)

Resumo

O aumento do consumo de energia a nível mundial e as questões relacionadas com a degradação ambiental tornam cada vez mais premente a alteração de sistemas de produção de energia antigos, poluentes e pouco eficientes por sistemas não dependentes dos combustíveis fósseis e livres de emissões de gases poluentes. Este trabalho tem como objetivo descrever todo o processo de alteração da fonte energética no aquecimento central e produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS) numa unidade de cuidados continuados, desde o dimensionamento a uma detalhada análise dos resultados obtidos com a alteração efetuada. O sistema existente era constituído por uma caldeira a gásóleo que foi substituída por um sistema solar térmico apoiado por uma caldeira de condensação a gás natural de eficiência elevada. Para o dimensionamento foi utilizada a aplicação Solterm, que permitiu obter simulações da produção do sistema solar térmico e da energia necessária ao apoio do mesmo, tornando assim possível relacionar os dados obtidos na simulação com os valores reais das faturas energéticas. Efetuada a análise financeira, verificou-se que o projeto é economicamente viável para os dois cenários apresentados por evidenciar não só um Valor Atual Líquido (VAL) positivo como uma Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) superior à taxa de atualização considerada. A instalação efetuada, do sistema solar térmico e da caldeira de condensação, estima um período de retorno de investimento de cerca de onze anos, o que torna o projeto atrativo, uma vez que o tempo de vida dos equipamentos em questão está calculado em aproximadamente vinte anos.

Palavras-Chave: sistema solar térmico, água quente sanitária, climatização, gás natural.

Abstract

With the huge increase in the global energy consumption and the issues concerning environmental degradation, it has become more and more urgent to replace old, polluting and inefficient types of energy production by energy production systems non-dependent on fossil fuels and free from pollutant gas emissions. This work aims to describe the whole process of changing the energy source for central heating and production of domestic hot water in a unit of long-term care services, including both the sizing and a detailed analysis of the results achieved after the replacement was carried out and the new system started functioning. The previous system consisted of a diesel boiler that was replaced by a solar thermal system backed up by a high efficient natural gas condensing boiler. The Solterm software used for the sizing of the solar system made it possible to get simulations of the production generated by the solar thermal system, as well as the energy necessary for its backup. Thus, it gave the possibility to compare the data obtained by the simulation with the real energy invoice values. The financial review illustrates that the project is economically viable for the two scenarios presented, as it shows not only a positive Net Present Value (NPV) but also an Internal Rate of Return (IRR) that is higher than the considered discount rate. The installation of both the solar thermal system and the condensing boiler estimates a payback period of about eleven years, which makes the project attractive, since the equipment in question is expected to have a life cycle of approximately twenty years.

Keywords: solar thermal system, domestic hot water, central heating, natural gas.

Índice

Resumo	v
Abstract	v
Índice	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xi
Agradecimentos	xiii
Simbologia e Notações	xv
Sistema de Unidades	xix
Representações gráficas	xix
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos e âmbito	3
1.3 Organização da dissertação	3
2 Legislação e normas energéticas	5
3 Fundamentos Teóricos	7
3.1 Eficiência Energética	7
3.2 Energia Solar Térmica	7
3.2.1 A Radiação Solar	7
3.2.2 Funcionamento dos Sistemas de AQS	10
3.2.3 Principais componentes	10
3.2.4 Tipos de Coletores Solares	12
3.2.4.1 Coletores planos	13
3.2.4.2 Coletores de tubos de vácuo	14
3.2.4.3 Balanço de energia e eficiência	15
3.2.5 Configurações dos Sistemas Solares	19
3.2.5.1 Sistema termossifão	20
3.2.5.2 Sistema circulação forçada	20
3.2.6 Interligação entre coletores	21
3.2.6.1 Coletores em paralelo	21
3.2.6.2 Coletores em paralelo de canais	22
3.2.6.3 Coletores em série	22
3.3 Gás Natural	23
3.3.1 Características do Gás Natural	23
3.3.2 Consumo Gás Natural	24
3.3.3 Vantagens e utilizações	24
3.3.4 Caldeira de condensação	26

3.4	Eletricidade	26
3.4.1	Consumo de eletricidade	26
3.4.2	Integração da eletricidade como sistema de apoio nos sistemas AQS	28
4	Caso de Estudo Casa Minha	29
4.1	Análise do Edifício e da Instalação existente	29
4.2	Projeto.....	30
4.2.1	Dimensionamento	30
4.2.1.1	Volume de armazenamento	30
4.2.1.2	Área de coletores	31
4.2.1.3	Distância entre coletores	32
4.2.1.4	Potência da caldeira de condensação	33
4.2.2	Análise de desempenho do sistema solar térmico.....	33
4.3	Análise de Resultados	41
4.4	Análise Financeira	49
4.4.1	Cenário 1: Substituição da caldeira a gasóleo pela caldeira a gás natural.....	52
4.4.2	Cenário 2: Substituição da caldeira a gasóleo pela caldeira a gás natural e sistema solar térmico	54
4.4.3	Comparação entre o cenário 1 e o cenário 2.....	56
5	Conclusões.....	57
6	Referências	59
7	Anexos.....	61
7.1	Ficha técnica dos termoacumuladores	61
7.2	Certificado Solar Keymark do colector solar THK 270	62
7.3	Ficha técnica da caldeira de condensação	63
7.4	Esquema hidráulico da instalação	64
7.5	Esquema elétrico da instalação.....	65
7.6	Tabelas da Análise Financeira para o Cenário 1	66
7.7	Tabelas da Análise Financeira para o Cenário 2	70

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Evolução da dependência energética de combustíveis fósseis na energia primária em Portugal [1].....	1
Figura 1.2 – Evolução da meta de incorporação de FER no consumo final bruto de energia de acordo com a Diretiva 28/2009/CE [1]	1
Figura 1.3 – Número de horas de sol em Portugal [3]	2
Figura 3.1 - Distribuição espectral da radiação solar [11]	8
Figura 3.2 – Mapa da radiação solar na Europa [12]	9
Figura 3.3 – Coordenadas geográficas e ângulos [9]	10
Figura 3.4 – Relação entre eficiência e temperatura de saída para exemplos de diferentes tipos de coletores estacionários [13]	13
Figura 3.5 – Secção de corte de um coletor plano [14]	14
Figura 3.6 – Esquema de um coletor de tubos de vácuo [15]	15
Figura 3.7 – Curvas de rendimento de um coletor solar [16]	18
Figura 3.8 – Funcionamento de um sistema termossifão [17].....	20
Figura 3.9 – Funcionamento de um sistema de circulação forçada [18]	21
Figura 3.10 – Ligação em paralelo com alimentação invertida	21
Figura 3.11 – Ligação em paralelo de canais	22
Figura 3.12 – Ligação em série.	22
Figura 3.13 – Evolução do consumo de gás natural [24]	24
Figura 3.14 – Fatores de emissão de CO ₂ e PCI para diferentes combustíveis [25]	25
Figura 3.15 – Representação esquemática de uma caldeira de condensação [26]	26
Figura 3.16 – Desagregação da produção de eletricidade por fonte de energia primária [24]	27
Figura 3.17 – Integração das diferentes fontes de energia renovável na produção de eletricidade em Portugal em 2015 [27].....	27
Figura 3.18 – Evolução da contribuição da eletricidade de origem renovável em Portugal (com correção de hidraulicidade) e estimativa do PNAER [28]	28
Figura 4.1 – Caldeira a gasóleo pré-existente.....	29
Figura 4.2 – Depósito acumulador pré-existente.	29
Figura 4.3 –Ligação dos coletores do projeto em estudo.	30
Figura 4.4 – Depósitos acumuladores instalados.	31
Figura 4.5 –Coletores solares instalados.	31
Figura 4.6 –Esquema de montagem com distância mínima entre fileiras de coletores	32
Figura 4.7 –Caldeira de condensação instalada.	33
Figura 4.8 – Definição da localização.	34
Figura 4.9 –Detalhes do local.	34
Figura 4.10 –Caracterização dos coletores solares térmicos.	35
Figura 4.11 – Caracterização dos coletores solares térmicos.	35
Figura 4.12 – Caracterização da tubagem do circuito primário.	36
Figura 4.13 – Caracterização do depósito.	36
Figura 4.14 – Especificações do depósito e do permutador de calor.	37
Figura 4.15 – Caracterização do consumo.	37
Figura 4.16 – Especificações do consumo e da temperatura da água.	38
Figura 4.17 – Caracterização do apoio.....	38
Figura 4.18 –Análise Energética.....	39
Figura 4.19 – Energia fornecida pelo sistema solar e pelo sistema auxiliar.....	40
Figura 4.20 – Diagrama de carga do consumo e energia fornecida pelo sistema solar.....	40
Figura 4.21 – Benefícios ambientais.....	41
Figura 4.22 – Consumo de gasóleo de aquecimento pela caldeira antiga.	43
Figura 4.23 – Consumo de gás natural de Junho de 2014 a Setembro de 2015.....	44
Figura 4.24 – Esquema ilustrativo dos diferentes tipos de consumo de gás natural.	45
Figura 4.25 – Desagregação de consumos de gás natural na fatura energética	45

Figura 4.26 – Comparação de consumos (para AQS e climatização) entre gasóleo e gás natural.	48
Figura 4.27 – Comparação de consumos (para AQS) entre gasóleo e gás natural.	48
Figura 4.28 – Comparação de consumos (para climatização) entre gasóleo e gás natural.....	48
Figura 4.29 – Comparação de cash-flow acumulados com variação do preço do gás natural	53
Figura 4.30 – Comparação de cash-flow acumulados com variação do número de ocupantes	55
Figura 4.31 – Comparação de cash-flow acumulados entre o cenário 1 e 2	56

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 – Rácio C/H e CO ₂ libertado para diferentes combustíveis [22]	23
Tabela 3.2 – Preços médios de importação de Produtos Energéticos [1]	24
Tabela 4.1 – Características técnicas dos coletores solares instalados.....	31
Tabela 4.2 – Valores obtidos para a distância mínima entre coletores.	32
Tabela 4.3 – Necessidades de aquecimento comparadas.	33
Tabela 4.4 – Valores referentes às faturas de gasóleo de aquecimento	41
Tabela 4.5 – Tratamento dos dados resultantes das faturas de gasóleo de aquecimento.	42
Tabela 4.6 – Desagregação de consumos da fatura de gasóleo	43
Tabela 4.7 – Valores referentes às faturas de gás natural.....	43
Tabela 4.8 – Tratamento dos dados resultantes das faturas de gás natural.	44
Tabela 4.9 – Desagregação de consumos da fatura de gás natural.	45
Tabela 4.10 – Dados obtidos no Solterm e valores dos erros relativos ao mínimo	46
Tabela 4.11 – Desagregação de consumos no Gás Natural.....	47
Tabela 4.12 – Desagregação de consumos no Gasóleo.....	48
Tabela 4.13 – Necessidades energéticas para o Cenário 1	52
Tabela 4.14 – Constantes necessárias à análise financeira do projeto (cenário 1).....	53
Tabela 4.15 – Indicadores Financeiros (cenário 1).....	53
Tabela 4.16 – Necessidades energéticas para o Cenário 2	54
Tabela 4.17 – Indicadores Financeiros (cenário 2).....	55
Tabela 4.18 – Indicadores Financeiros (cenário 1 e 2)	56
Tabela 7.1 – Análise financeira para o cenário 1 base	67
Tabela 7.2 – Análise financeira para o cenário 1 com aumento de 10% no preço do gás natural	68
Tabela 7.3 – Análise financeira para o cenário 1 com decréscimo de 10% no preço do gás natural.....	69
Tabela 7.4 – Análise financeira para o cenário 2 base (40 ocupantes)	71
Tabela 7.5 – Análise financeira para o cenário 2 com 20 ocupantes	72
Tabela 7.6 – Análise financeira para o cenário 2 com 60 ocupantes	73

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais e irmã pelo apoio prestado ao longo de todo o meu percurso e em especial nesta última fase da realização da tese, sem eles não teria sido possível concretizar esta etapa.

Ao Bernardo pela compreensão, apoio e incentivo durante este percurso académico e por todos os conselhos prestados de quem já passou pelo mesmo.

Aos meus orientadores Pedro Azevedo e Filipa Menezes, pela excelente orientação e apoio bem como a disponibilidade que tiveram na resolução das dúvidas que surgiram no decorrer da tese. Ao professor Pedro por ter sido incansável em esclarecer as dúvidas, pela orientação extraordinária de todo o trabalho e por todos os conselhos prestados para que me torne uma “verdadeira” engenheira. À Filipa agradeço-lhe a oportunidade que me deu ao participar neste projeto, pela experiência proporcionada em ter posto “mãos à obra” e por todo o apoio prestado onde sempre existiu uma palavra de força, motivação e calma.

A todos os meus amigos e colegas pelo companheirismo e compreensão, aos que me acompanharam ao longo de todo o curso e que partilharam os mesmos sentimentos, em especial à Susana e Mariana que estiveram sempre a meu lado nesta luta académica e que me motivaram até ao fim.

Simbologia e Notações

AQP	Água Quente de Processo
AQS	Água Quente Sanitária
CPC	Concentrador Parabólico Composto
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ESTIF	Federação Europeia da Indústria Solar Térmica
FER	Fontes de Energias Renováveis
INE	Instituto Nacional de Estatística
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PRI	Período de Retorno de Investimento
PRIA	Período de Recuperação do Investimento Atualizado
PRO	Produção em Regime Ordinário
REH	Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
REN	Rede Elétrica Nacional
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
UE	União Europeia
URE	Utilização Racional de Energia
VAL	Valor Atual Líquido
a	Taxa de atualização
a_1	Coefficiente de perdas primário [W/(m ² .K)]
a_2	Coefficiente de perdas secundário [W/(m ² .K)]
A_a	Área de abertura [m ²]
A_T	Área da superfície esférica Terra [m ²]
C	Capacidade térmica do coletor [J/K]
c_{a1}	Encargos de investimento
c_{a2}	Encargos de operação e manutenção
c_{anuais}	Custos anuais
CFA_i	Cash-flow acumulado atualizado no ano i

CF_i	Cash-flow acumulado no ano i
c_p	Calor específico do fluido de transferência [J/(kg.K)]
d_{fi}	Número de dias da fatura atual que pertencem ao mês atual
d_{fi+1}	Número de dias da fatura seguinte que pertencem ao mês atual
d_{min}	Distância mínima entre coletores [m]
d_{omj}	Despesas de manutenção referidas ao investimento no ano j [€]
E_{Ri}	Erro relativo do mês i [L]
E_{RJul}	Erro relativo do mês de Julho [L]
F_0	Valor do pagamento feito no momento atual t=0
F_t	Valor acumulado ao fim de t anos
G	Constante solar [W/m ²]
G_c	Irradiância no plano do coletor [W/m ²]
h_{col}	Altura a que se encontram os coletores [m]
I_j	Investimento no ano j [€]
I_t	Investimento total [€]
I_{ta}	Investimento total atualizado [€]
\dot{m}	Caudal mássico [kg/s]
N	Anos
P	Potência radiativa solar [W]
Q_{abs}	Energia absorvida [W]
Q_{Ago}	Consumo do mês de Agosto [kWh/dia]
Q_{anual}	Necessidades energéticas anuais [kWh]
$Q_{consumo}$	Energia necessária ao consumo de AQS [J]
Q_{fAgo}	Consumo do mês de Agosto obtido pela fatura [kWh/dia]
q_{fi}	Quantidade da fatura atual [L]
q_{fi+1}	Quantidade da fatura seguinte [L]
Q_{Mi}	Quantidade do mês atual [L]
Q_p	Energia perdida [W]
Q_{ref}	Consumo do mês de referência (Agosto) [kWh/dia]
Q_{tf}	Energia transferida para o fluido [W]
Q_u	Ganho de energia útil [W]
R_T	Raio da Terra [m]

S	Radiação solar absorvida pelo coletor [W/m^2]
T	Temperatura [K]
t	tempo[s]
T_a	Temperatura ambiente [K]
T_{AQS}	Temperatura requerida para o consume de AQS [K]
t_c	Tarifa do combustível [€/kWh]
T_e	Temperatura do fluído à entrada do coletor [K]
T_{mf}	Temperatura média do fluido de transferência de calor [K]
T_{mp}	Temperatura média da placa do absorsor [K]
T_{rede}	Temperatura da rede [K]
T_s	Temperatura do fluído à saída do coletor [K]
U_L	Coeficiente global de perdas [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]
V	Volume de água a aquecer [m^3]
x_i	Valor do mês i [L]
x_{min}	Valor mínimo [L]
α	Absorvância
β	Ângulo entre o coletor e o plano horizontal [rad]
η	Eficiência do coletor
η_0	Rendimento ótico do coletor
ρ	massa volúmica da água [kg/m^3]
τ	Transmitância

Sistema de Unidades

Tentou-se utilizar sempre unidades do Sistema Internacional (SI), contudo existiram algumas exceções por se tornar mais simples a compreensão dos valores em questão. Nestes casos as unidades são definidas para a situação em que se descrevem.

Na parte respeitante ao cálculo analítico é frequentemente utilizada para a representação do volume a unidade de medida L em oposição ao m^3 . O mesmo acontece para a grandeza temperatura em que se utiliza a unidade de grau Celsius em oposição ao grau Kelvin.

Ao longo do Capítulo 4, utilizou-se predominantemente a unidade kWh para representar a grandeza de energia em oposição ao Joule.

Devido a esta situação, explicitam-se as unidades sempre que não se utilize o SI para quantificar determinada grandeza.

Representações gráficas

Relativamente às diversas representações gráficas referenciadas, estas foram mantidas tal como encontradas nos documentos originais independentemente do grafismo, nomenclatura, unidades ou língua utilizados.

1 Introdução

1.1 Enquadramento

Atualmente, a energia necessária para suprir as necessidades de AQS e de climatização de um edifício é o que mais pesa na fatura de uma habitação, pelo que se torna imperioso implementar soluções mais eficientes e menos dependentes dos combustíveis fósseis.

As atuais diretivas caminham nesse sentido ao visar não só reduzir a emissão de gases com efeito de estufa, mas também aumentar a incorporação de energias renováveis e melhorar a eficiência energética.

Contudo, ainda se confirma uma dependência bastante elevada dos combustíveis fósseis, embora se tenha verificado uma redução de 7% em 2014 relativamente a 2012.

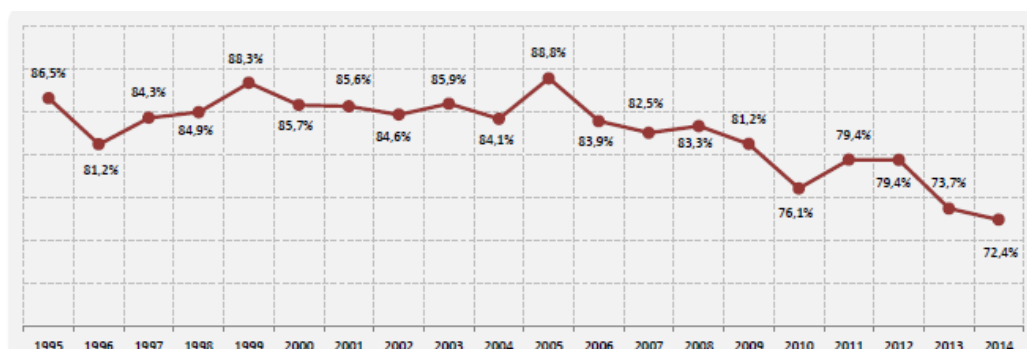


Figura 1.1 - Evolução da dependência energética de combustíveis fósseis na energia primária em Portugal [1]

No que diz respeito à incorporação de energias renováveis, a Diretiva 28/2009/CE veio introduzir a obrigatoriedade dos países membros da UE implementarem um plano que promova a utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Neste sentido, Portugal estabeleceu metas e planos para 2020, tendo, em 2013, alcançado 83% da meta para 2020, a qual se situa nos 31% de incorporação de fontes de energia renováveis (FER) na energia primária.

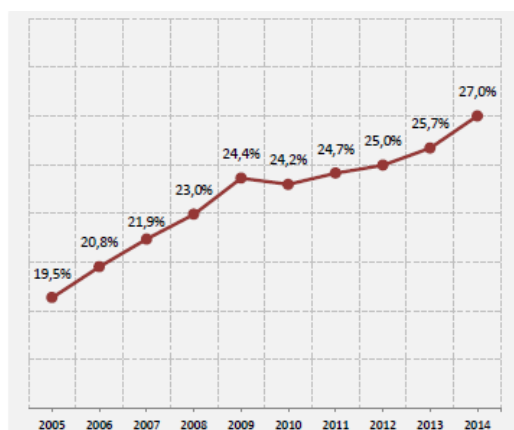


Figura 1.2 – Evolução da meta de incorporação de FER no consumo final bruto de energia de acordo com a Diretiva 28/2009/CE [1]

Segundo um inquérito realizado ao consumo de energia no sector doméstico em Portugal [2], concluiu-se que em 2010 o aquecimento de águas e o aquecimento do ambiente representaram 45% do consumo de energia no alojamento. Torna-se, portanto, imprescindível que, para satisfazer esta procura, se conceba um sistema energético futuro que tenha em conta as soluções renováveis, acelerando assim a mudança dos combustíveis fósseis no sector de aquecimento para tecnologias renováveis.

A implementação de sistemas que utilizem FER vem desta forma colaborar na solução da problemática dos combustíveis fósseis e da emissão dos gases com efeito de estufa, contribuindo também para atenuar a preocupação das alterações climáticas.

A energia solar surge como um recurso endógeno gratuito que proporciona uma poupança de energia no aquecimento de AQS e que contribui para a redução das emissões de CO₂. Portugal dispõe de um potencial bastante significativo para aproveitamento de energia solar, possuindo entre 2200 a 3000 horas de sol por ano (Figura 1.3) e uma radiação solar global anual entre 1400 e 1800 kWh/m²/ano (Figura 3.2), potencial este que pode ser aproveitado para diminuir o consumo energético e a dependência dos combustíveis fósseis.

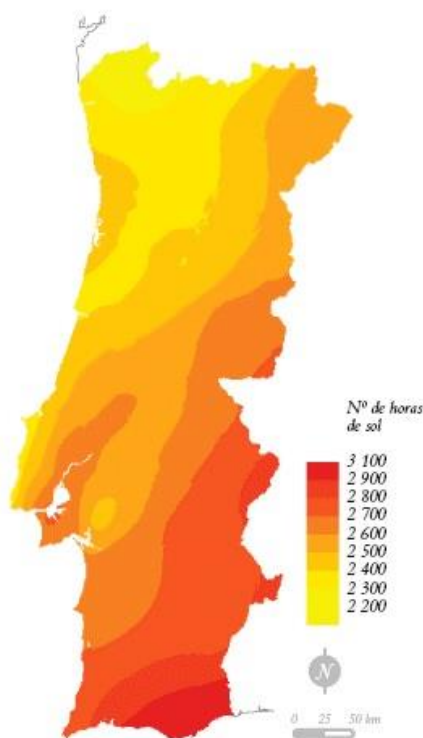


Figura 1.3 – Número de horas de sol em Portugal [3]

1.2 Objetivos e âmbito

O principal objetivo do presente documento consiste na análise energética do novo sistema instalado na unidade de cuidados continuados, a Casa Minha. Este sistema destina-se à produção de energia para AQS e climatização do edifício, tendo sido realizada uma comparação com o sistema antigo. A alteração da fonte energética vem de encontro às preocupações atuais com a redução da dependência dos combustíveis fósseis ao incorporar a utilização de energias renováveis, como a energia solar térmica, e visar a melhoria da eficiência energética com a instalação de uma caldeira de condensação a gás natural que funciona como sistema de apoio com rendimentos bastante superiores ao da caldeira a gasóleo que se encontrava em funcionamento.

A análise da alteração da fonte energética engloba uma avaliação do edifício e da instalação existente, o dimensionamento e a simulação do sistema a instalar, uma monitorização dos dados adquiridos através da apreciação de faturas de energia, uma análise dos resultados obtidos comparando as faturas e os dados alcançados através da simulação, e ainda uma análise financeira para dois cenários.

1.3 Organização da dissertação

No Capítulo 2 deste documento é feita uma breve apresentação da legislação energética que melhor se enquadra neste trabalho, onde se incluem os planos nacionais para a eficiência energética e energias renováveis.

No Capítulo 3 é feita uma revisão da literatura do estado de arte da energia solar térmica que inclui o funcionamento e principais componentes de um sistema solar térmico, assim como os tipos de coletores solares e as diferentes configurações dos mesmos. Também é abordada a temática do gás natural com as suas características, vantagens e utilizações, a evolução do seu consumo em Portugal e os aspetos técnicos das caldeiras de condensação. É feita ainda uma análise do consumo de eletricidade em Portugal e a integração da eletricidade como sistema de apoio secundário.

No Capítulo 4 encontra-se um caso de estudo que engloba a análise de uma instalação existente, a parte de um projeto que inclui o dimensionamento do sistema a instalar e uma simulação realizada com apoio da aplicação Solterm. Neste capítulo também é ainda apresentada uma análise dos resultados obtidos nas faturas energéticas e como estes se relacionam com os resultados simulados no Solterm, sendo assim possível estimar o consumo ao longo de um ano. No final do capítulo é apresentada a uma análise financeira do projeto onde se calculam dois dos principais indicadores de avaliação económica, o VAL e a TIR e ainda o período de retorno de investimento.

No Capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões relativas aos resultados obtidos.

No Capítulo 6 encontram-se as referências bibliográficas utilizadas ao longo de todo o trabalho.

2 Legislação e normas energéticas

A crescente e premente necessidade de reduzir o consumo de energia à escala global torna imprescindível para cada país desenvolver as suas políticas energéticas.

Em Janeiro de 2014, a Comissão Europeia apresentou o novo quadro da União Europeia (UE) no que diz respeito ao clima e energia, com o objetivo de obter uma economia competitiva, segura e com baixo teor de carbono na UE em 2030. O novo quadro visa criar um sistema energético que seja competitivo e seguro, garantindo energia a um preço acessível a todos os consumidores, aumentar a segurança do abastecimento energético da UE, reduzir a dependência das importações de energia e ainda gerar novas oportunidades de crescimento e emprego. É possível atenuar o aumento dos custos de energia, assegurando não só políticas de energia e de clima com uma relação favorável de custo/eficácia, mas também uma maior eficiência energética e garantindo ainda mercados de energia competitivos. A Comissão Europeia estabeleceu assim as seguintes metas de acordo com o quadro político para 2030 [4]:

- meta vinculativa de redução de pelo menos 40% nas emissões de gases com efeito de estufa, com base nos valores de 1990;
- meta vinculativa de pelo menos 30% de energias renováveis no consumo energético;
- meta indicativa de pelo menos 27% no aumento da eficiência energética.

O quadro para 2030 propõe ainda um novo sistema de governação baseado em planos nacionais para garantir uma energia competitiva, segura e sustentável, reduzindo a dependência energética do país e promovendo a segurança de aprovisionamento através da promoção de um mix energético equilibrado.

A política energética nacional tem por base dois aspetos fundamentais, a racionalidade económica e a sustentabilidade, recomendando medidas de eficiência energética e a utilização de energia proveniente de fontes renováveis, levando assim à redução de custos. [5]

Nesta área foram desenvolvidos programas e planos com base num modelo energético racional e sustentável, que concorrem para objetivos específicos através da dinamização de medidas de eficiência energética. Surgem assim o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER). [6]

O PNAEE e o PNAER são ferramentas de planeamento energético que determinam o meio de alcançar metas e acordos internacionais assumidos por Portugal relativamente à utilização de fontes de energia renováveis e à eficiência energética, reconhecendo ainda barreiras existentes e o potencial de melhoria.

O PNAEE 2016 estabeleceu metas e ações, incorporando a preocupação com a redução de energia primária prospetivada para 2020 e compreendeu seis áreas específicas: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura.

A área de Residencial e Serviços, onde se enquadra o projeto em estudo, é extremamente sensível para o sucesso da implementação do PNAEE 2016 pois representou, em 2014, cerca de 29,6% do consumo de energia final em Portugal, tendo sido 16,8% no sector Residencial e 12,8% no sector dos Serviços [7]. Este projeto vai desta forma contribuir para a melhoria da eficiência energética e está integrado em dois programas do PNAEE: “Renove a casa e escritório”, onde se inclui a medida de substituição de equipamentos antigos por sistemas mais eficientes de produção de energia e ainda o programa “Solar Térmico Serviços”.

O PNAER 2020 tem como objetivo essencial reavaliar o peso relativo de cada uma das Fontes de Energia Renováveis (FER) no *mix* energético nacional bem como as próprias metas de incorporação destas a atingir em 2020, tendo em conta o custo de produção e o resultante potencial de funcionamento em regime de mercado. Este Plano engloba os seguintes sectores: eletricidade, aquecimento e arrefecimento e transportes, criando para cada um destes sectores a melhor forma de introdução de FER e o adequado ritmo para executar as medidas e ações previstas.

Este projeto permitiu introduzir a energia solar térmica no sector de aquecimento, contribuindo assim de forma positiva para o objetivo nacional para 2020 de energia proveniente de FER para este sector.

3 Fundamentos Teóricos

3.1 Eficiência Energética

A eficiência energética pode ser definida como a otimização do consumo de energia. Com a atual preocupação da escassez dos combustíveis fósseis e das alterações climáticas torna-se necessário implementar métodos de melhoria da eficiência energética de modo a equilibrar o modelo de consumo. A eficiência energética pressupõe a implementação de estratégias e medidas com o objetivo de combater o desperdício de energia ao longo do processo de transformação até ser utilizada.

A eficiência energética está presente no dia-a-dia dos consumidores. Adotar atitudes mais sustentáveis, diminuir os consumos e escolher equipamentos mais eficientes são fatores essenciais para um futuro sustentável e energeticamente mais eficiente.

A eficiência energética é associada frequentemente ao termo Utilização Racional de Energia (URE), que pressupõe a adoção de medidas que permitam uma melhor utilização da energia, tanto no sector doméstico como nos sectores de serviços e indústria.

É possível alcançar poupanças de energia significativas através da escolha, aquisição e utilização adequada de equipamentos, mantendo o conforto e aumentando a produtividade das atividades dependentes de energia, com vantagens do ponto de vista económico e ambiental.

3.2 Energia Solar Térmica

3.2.1 A Radiação Solar

A densidade de potência média de radiação solar que atinge a atmosfera da Terra é de aproximadamente 1367 W/m^2 [8], também conhecida como constante solar. Sabendo que o raio da Terra é de $(2/\pi) \times 10^7 \text{ m}$ [9], é possível obter a potência radiativa solar que chega à Terra, através da Equação (3.1), obtendo-se um valor aproximado de $6,96 \times 10^{17} \text{ W}$.

$$P = G \cdot A_T = G \cdot 4 \cdot \pi \cdot R_T^2 \quad (3.1)$$

Onde,

R_T : Raio da Terra [m];

G : Constante solar [W/m^2];

P : Potência radiativa solar [W];

A_T : Área da superfície esférica da Terra [m^2];

Multiplicando este valor pelo número de horas de um dia e pelo número de dias do ano, obtém-se a energia total de radiação solar que atinge a Terra: $6,10 \times 10^{18} \text{ kWh}$.

Comparando este valor com o consumo mundial anual de energia, cerca de $1,04 \times 10^{14}$ kWh [10], conclui-se que apenas seria necessário cerca de 0,0017% da energia solar anual que atinge a Terra para suprir as necessidades de energia de todo o mundo.

Contudo a radiação que atinge a superfície da Terra varia bastante devido a efeitos atmosféricos, como a absorção e a dispersão, variações locais na atmosfera, como vapor de água, nuvens e poluição, e ainda com a latitude do lugar, a estação do ano e a hora do dia. Cerca de 30% da radiação solar é refletida para o espaço e cerca de 20% é absorvida pelas nuvens e moléculas do ar [9], contudo mesmo considerando que apenas 10% da radiação é aproveitável, apenas seria necessário 0,0171% desta para satisfazer as necessidades mundiais, o que demonstra que a energia solar é uma fonte de energia que deve ser bastante explorada e aproveitada.

A energia solar atinge a Terra como forma de radiação eletromagnética, com o seu espectro principalmente na zona do visível (48%) e infravermelho (45,6%) e com alguma radiação na gama dos ultravioleta (6,4%) [8]. Na Figura 3.1, encontra-se representado o espectro da radiação solar, onde, como se pode verificar, é predominante a zona do visível e infravermelho.

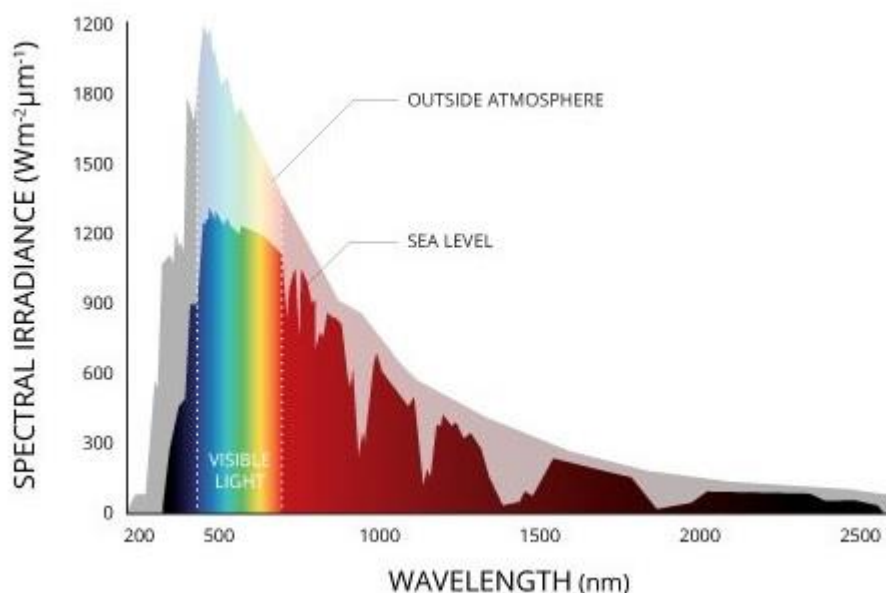


Figura 3.1 - Distribuição espectral da radiação solar [11]

A radiação solar atinge o solo em duas formas distintas: radiação direta e radiação difusa, sendo que a radiação direta vem diretamente do sol e causa grandes sombras, já a radiação difusa vem de uma direção que não é definida, isto é, vem de todas as direções, sendo esta luz refletida pelas partículas atmosféricas.

A radiação global é a soma total de radiação solar direta e difusa medida na superfície horizontal do solo. Parte desta radiação é refletida pelas superfícies, designando-se essa refletividade por albedo, o qual depende unicamente da composição e cor da superfície.

Na Figura 3.2 encontra-se representado o mapa da radiação global horizontal na Europa, onde se pode verificar que Portugal é um dos países com maior disponibilidade de radiação solar.

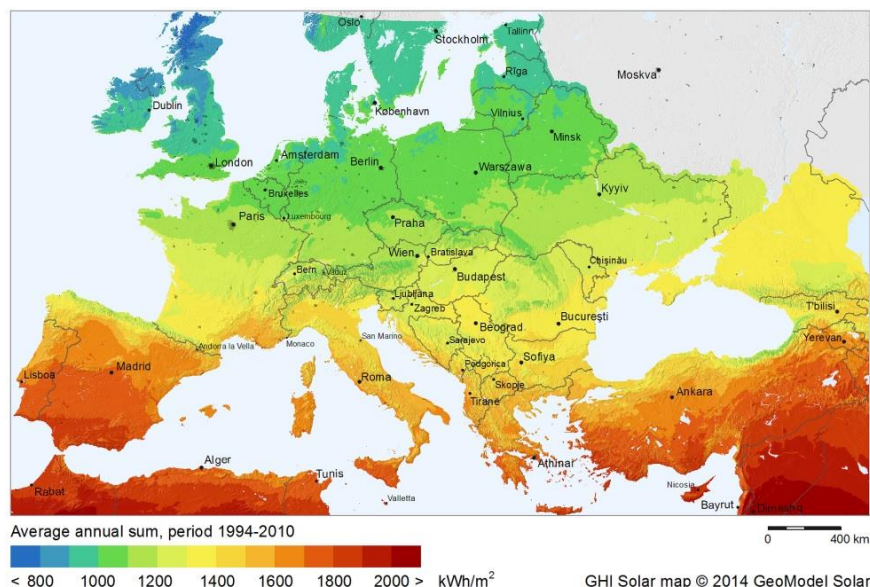


Figura 3.2 – Mapa da radiação solar na Europa [12]

Para dimensionar um sistema de energia solar é necessário conhecer alguns conceitos essenciais.

É fundamental saber as coordenadas geográficas do local, sendo a latitude (ϕ) o valor angular do arco de meridiano compreendido entre o equador e o paralelo do lugar de referência e a longitude o valor angular, junto ao eixo da Terra, do plano formado pelo prolongamento das extremidades do arco de paralelo compreendido entre o meridiano de Greenwich e o meridiano do lugar de referência, considerando-se este plano sempre paralelo ao plano do equador.

Outro parâmetro importante é o ângulo de inclinação, formado pelo plano da superfície coletora e a horizontal do ponto considerado, sendo que existem diferentes ângulos ideais de inclinação conforme a latitude do local.

É possível calcular também a altura solar (h) que é o ângulo compreendido entre o raio solar e a projeção do mesmo sobre o plano horizontal e que depende da latitude do lugar, do ângulo de declinação solar, da altura solar e do ângulo horário solar. A declinação solar (δ) é o ângulo formado pela linha Terra-Sol, ao meio-dia solar, com o plano do equador e o ângulo horário (ω) é definido como 0 ao meio dia solar e positivo depois do meio-dia.

O ângulo de incidência é formado pela radiação direta sobre a superfície coletora e a perpendicular ao coletor.

O azimute (A) é outro parâmetro importante no dimensionamento e é definido como o ângulo formado pela projeção horizontal da linha perpendicular à superfície coletora e a linha que passa por esta e o sul geográfico. Este é o ângulo que define a direção do movimento do sol.

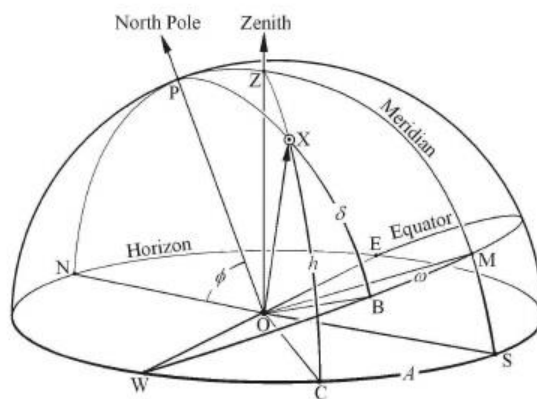


Figura 3.3 – Coordenadas geográficas e ângulos [9]

3.2.2 Funcionamento dos Sistemas de AQS

Atualmente, um sistema solar de AQS é constituído por dois circuitos: um circuito primário que recolhe a energia solar e a transfere para um tanque onde é armazenada; e um circuito secundário que transfere o calor armazenado no tanque para um sistema de abastecimento de água quente sanitária onde vai ser consumido.

Ocasionalmente, os circuitos primário e secundário são constituídos pela mesma água, fazendo-a apenas circular do coletor solar através de tubos e tanques para o abastecimento de água, denominando-se esta configuração de sistema direto. Contudo, na maior parte dos sistemas, os circuitos primário e secundário utilizam diferentes fluídos, transferindo o calor de um líquido para o outro através de um permutador de calor, denominando-se este arranjo de sistema indireto. Este sistema é o mais usual pois o fluido térmico procedente dos coletores solares não deve ser utilizado como água quente sanitária de consumo por conter, normalmente, agentes de proteção dos tubos internos e externos aos painéis e anticongelante para evitar o congelamento no Inverno.

Tendo em conta que a radiação solar varia com as estações do ano e ao longo do dia, podendo nem sempre responder às necessidades de aquecimento, é necessário ter um sistema de apoio que garanta as necessidades de consumo.

O tipo e a localização dos sistemas de apoio tornam os sistemas mais complexos, tendo estes de ser capazes de fornecer todo o aquecimento de águas sanitárias se o sistema solar não estiver disponível. Os sistemas de apoio podem incluir uma caldeira (onde se poderá consumir combustível fóssil ou renovável) ou resistências elétricas. A maior parte destes sistemas são controlados a partir de um termóstato onde pode ser ajustado um limite de temperatura mínimo, havendo ainda a possibilidade de ser desligado se o sistema solar estiver a produzir calor suficiente para suprir as necessidades.

3.2.3 Principais componentes

Os acessórios que integram as instalações de fornecimento de AQS podem ser organizados em sete grupos:

Coletores solares térmicos

Este grupo corresponde aos denominados coletores ou painéis que são expostos à radiação solar. Têm como finalidade transformar a radiação solar em energia térmica mediante o aumento da temperatura do fluido que circula no seu interior.

Fluido de transferência térmica

Como já foi referido anteriormente, o líquido que circula no interior dos coletores solares não deve ser constituído somente por água do sistema de abastecimento, dado haver a possibilidade de congelamento e evaporação. Para evitar esses efeitos, circula uma mistura de água e anticongelante concentrado e anti-corrosivo nos coletores solares e em todos os circuitos associados, evitando assim que o fluido se solidifique/evapore e fornecendo também proteção ao circuito hidráulico face à oxidação. O propilenoglicol é um dos anticongelantes mais utilizados evitando a formação de gelo com temperaturas próximas de -50°C e estendendo o ponto de ebulição a temperaturas superiores a 150°C .

Estruturas de suporte

São estruturas metálicas sobre as quais se fixam os coletores solares e que apresentam uma grande relevância na montagem de forma a garantir a estabilidade dos coletores face a eventuais condicionantes atmosféricas como ventos ou neve.

Permutador de calor

O permutador de calor é responsável por transferir o calor do fluido térmico do circuito primário para o circuito secundário, onde se encontra o acumulador de água quente para consumo. Este pode ser um acessório externo ao sistema ou estar instalado dentro do próprio depósito acumulador.

Grupo hidráulico

É constituído por um conjunto de acessórios destinados a facilitar a movimentação dos fluídos térmicos entre os coletores solares e o permutador de calor.

Fazem parte deste grupo uma bomba de circulação alimentada por energia elétrica que impulsiona o fluido através do circuito hidráulico; um vaso de expansão instalado com o propósito de absorver as variações de densidade que se produzem no líquido do circuito primário como consequência das variações da temperatura; e ainda, um conjunto de válvulas de diferentes tipos intercaladas nas tubagens para acionar o controlo do líquido. As válvulas de corte impedem a circulação do fluido, as válvulas de segurança permitem a extração de fluido no caso da pressão do líquido em circulação ser superior a um valor predeterminado e as válvulas de retenção, que são do tipo antirretorno, evitam que o fluido circule no sentido contrário.

Apenas faz sentido referir a bomba de circulação nos sistemas de circulação forçada, pois nos sistemas termossifão o fluido circula através de convecção natural, tema este abordado posteriormente no subcapítulo 3.2.5. Configurações dos Sistemas Solares.

Acumulador

A finalidade das instalações solares térmicas é aquecer água da rede através dos coletores expostos ao sol e acumulá-la para ser utilizada em momentos posteriores aos da sua obtenção. O acumulador é um depósito normalmente cilíndrico onde é armazenada a água destinada ao consumo.

Sistema de apoio

As instalações solares térmicas podem estar dimensionadas para satisfazer a totalidade das necessidades de AQS durante todo o ano, ou de forma parcial, com o recurso a um sistema de apoio energético, para quando a capacidade do sistema solar não é suficiente para suprir as necessidades. Um sistema autossuficiente vai estar certamente sobredimensionado na estação de Verão, sobredimensionamento este que deve ser evitado, recorrendo assim a um sistema de apoio que pode ser uma resistência elétrica ou um sistema a combustíveis fósseis associado ao solar. Os sobredimensionamentos devem ser evitados tanto por razões económicas como físicas dos equipamentos, pois estes ao serem sobredimensionados vão sofrer um maior desgaste por estarem sujeitos a temperaturas mais elevadas o que leva a custos mais elevados tanto de investimento como de substituição.

Central de controlo

A água quente fornecida pelo sistema solar necessita de controlo para manter a temperatura da água no acumulador e para arrancar o sistema de apoio quando o sistema solar não satisfaz a procura. Para controlar estas ações, as instalações solares incorporam um regulador eletrónico, denominado de controlador diferencial, ao qual são transmitidas informações das temperaturas dos pontos mais significativos mediante sondas introduzidas no circuito hidráulico. No sistema solar térmico, o controlador diferencial controla a bomba de circulação através de duas sondas de temperatura. A primeira é colocada na zona do circuito solar onde é atingida a temperatura mais elevada, ou seja, à saída dos coletores, enquanto que a segunda sonda mede a temperatura no depósito acumulador abaixo do permutador de calor associado ao recurso solar. A bomba de circulação é acionada quando o diferencial de temperatura pré-definido é atingido.

Canalização e acessórios

Este grupo envolve tubagens entre os coletores solares e o acumulador, tubagens de água fria de entrada, tubagens de saída de água quente e outras ligações auxiliares, por exemplo para o esvaziamento do sistema. Este último grupo inclui também isolamento térmico para as tubagens de água quente, evitando assim perdas energéticas, sondas de temperatura e manómetros instalados em diferentes pontos do circuito hidráulico, diferentes tipos de válvulas (corte, misturadoras, expansão) e ainda purgadores manuais ou automáticos para extrair o ar do circuito.

3.2.4 Tipos de Coletores Solares

Os coletores de energia solar são um tipo característico de permutador de calor que transforma a energia da radiação solar em calor, sendo o principal componente dos sistemas solares. É um dispositivo que absorve a radiação solar incidente, converte-a em calor e transfere o calor para um fluido que circula pelo coletor.

Existem dois tipos de coletores solares: planos e concentradores. Um coletor plano possui a mesma área de intercepção e absorção da radiação solar, enquanto que o concentrador tem uma área de intercepção maior que a área de absorção, apresentando normalmente uma superfície concava refletora para interceptar e focar o feixe de radiação solar para uma pequena área recetora, aumentando assim o fluxo radiativo. Os coletores de concentração solar são utilizados para aplicações de alta temperatura para produção de vapor em aplicações industriais ou produção de energia elétrica, enquanto que os coletores planos destinam-se a aplicações de baixa e média temperatura, sendo mais utilizados em sistemas domésticos.

Os coletores estacionários estão permanentemente fixos e não possuem seguimento solar, podendo ser de três tipos: coletores planos (com e sem cobertura), coletores parabólicos (Concentrador Parabólico Composto - CPC) e coletores de tubos de vácuo. Os coletores do tipo CPC e de tubos de vácuo destinam-se a aplicações de média temperatura para fins de água quente de processo (AQP) e climatização (aquecimento e arrefecimento). Nas aplicações a baixa temperatura utilizam-se normalmente os coletores planos com ou sem cobertura, coletor plano com ou sem vácuo e ainda coletor estacionário do tipo CPC e destinam-se principalmente a água quente de processo (AQP), água quente sanitária (AQS) e aquecimento de água de piscinas.

Na Figura 3.4 é possível verificar a comparação entre a eficiência dos diferentes tipos de coletores estacionários em função da temperatura de saída. Como se pode observar, para temperaturas de saída mais elevadas o coletor plano não é o mais indicado pois a sua eficiência decresce bastante com o aumento da temperatura. Para temperaturas de saída mais elevadas é preferível utilizar o coletor do tipo CPC ou de tubos de vácuo.

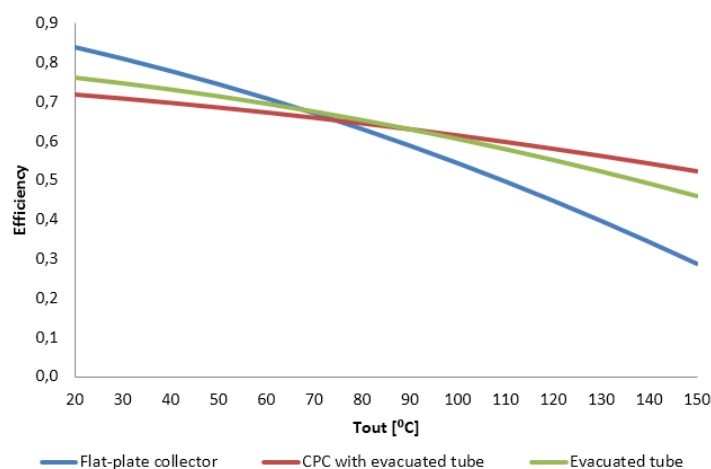


Figura 3.4 – Relação entre eficiência e temperatura de saída para exemplos de diferentes tipos de coletores estacionários [13]

Neste capítulo apenas serão aprofundados os coletores planos e de tubos de vácuo por serem os que mais se adaptam ao projeto em estudo e os que, atualmente, apresentam maior oferta de mercado.

3.2.4.1 Coletores planos

Os coletores planos podem ser projetados para aplicações que requerem uma distribuição de energia a temperaturas moderadas, até cerca de 100°C acima da temperatura ambiente. Estes coletores aproveitam tanto a radiação direta como difusa, não necessitam de seguimento solar e requerem pouca manutenção.

São mecanicamente mais simples do que os coletores concentradores e as suas principais aplicações são o aquecimento de águas para uso doméstico e de piscina, aquecimento de edifícios, apoio a sistemas de ar condicionado e aquecimento de água para fins industriais (AQP).

Os componentes mais importantes de um coletor plano típico são: a superfície absorvedora que transfere a energia absorvida para o fluido, a camada transparente à radiação solar que está sobre a superfície absorvedora que reduz a convecção e as perdas radiativas para a atmosfera, e o isolamento na parte de trás do coletor que reduz as perdas por condução.

A Figura 3.5 ilustra a secção de corte de um coletor plano básico.

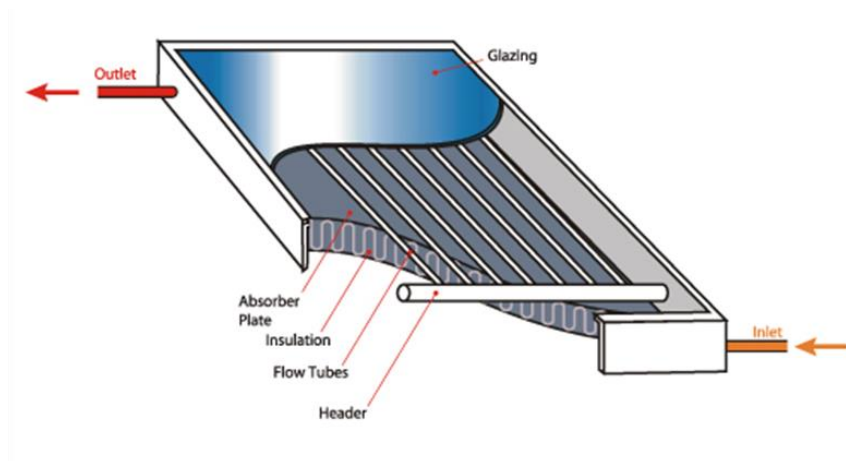


Figura 3.5 – Secção de corte de um coletor plano [14]

Os coletores planos são normalmente instalados numa posição estacionária (num telhado ou numa superfície horizontal), com uma orientação otimizada para a localização pretendida e para a estação do ano em que o dispositivo solar é suposto operar com melhor eficiência.

3.2.4.2 Coletores de tubos de vácuo

Um coletor de tubos de vácuo é um coletor constituído por uma série de tubos de vidro dispostos em linha dentro dos quais se encontra o absorvedor que contém tubos por onde circula o fluido a aquecer. Os tubos de vidro que circundam o absorvedor contêm vácuo que vai atuar como isolamento reduzindo as perdas por calor.

Uma característica que distingue estes coletores é a maneira como a vedação do vácuo é feita. Um dos métodos consiste em duas paredes de vidro concêntricas que criam uma espécie de frasco de vácuo com um centro oco que contém o absorvedor à pressão atmosférica. No outro método cria-se uma união na extremidade do tubo de vidro entre o tubo de metal e o de vidro de forma a que o absorvedor seja mantido no interior do vácuo.

Cada tubo de vidro na matriz do coletor irá eventualmente sombrear o tubo vizinho à medida que o sol vai descendo no final do dia, assim, alguns tipos de tubos possuem um espelho refletor virado para o sol para mitigar este efeito.

O facto de o absorsor estar colocado em vácuo faz com que as temperaturas num ambiente externo tenham um efeito mínimo na performance do coletor, ou seja, num dia frio mas com sol, o coletor de tubos de vácuo vai geralmente superar um coletor plano com a mesma área de absorção.

Na Figura 3.6 encontra-se representado um esquema de um coletor de tubos de vácuo.

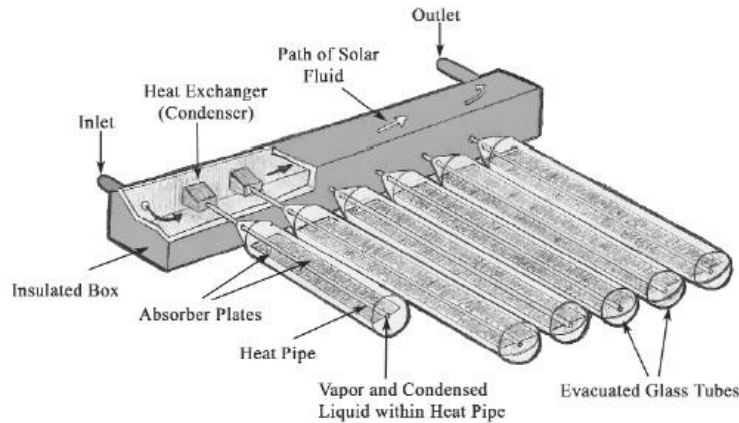


Figura 3.6 – Esquema de um coletor de tubos de vácuo [15]

3.2.4.3 Balanço de energia e eficiência

No estado estacionário, a performance do coletor solar é descrita por um balanço de energia que indica a distribuição da energia solar incidente que é convertida num ganho de energia útil, perdas térmicas e perdas óticas. A radiação solar absorvida pelo coletor por unidade de área do absorsor, é igual à diferença entre a radiação solar incidente e as perdas óticas. A energia térmica perdida pelo coletor para a envolvente por condução, convecção e radiação infravermelha pode ser representada como o produto de um coeficiente global de perdas e pela diferença entre a temperatura média da placa do absorsor e a temperatura ambiente. No estado estacionário, o ganho de energia útil de um coletor é dado pela diferença entre a radiação solar absorvida e as perdas térmicas, através da Equação (3.2).

$$Q_u = A_a [S - U_L (T_{mp} - T_a)] \quad (3.2)$$

Onde,

Q_u : Ganho de energia útil [W];

A_a : Área de abertura do coletor [m²];

S : Radiação solar absorvida pelo coletor [W/m²];

U_L : Coeficiente global de perdas [W/(m².K)];

T_{mp} : Temperatura média da placa do absorsor [K];

T_a : Temperatura ambiente [K];

O balanço térmico de um coletor, descrito na Equação (3.3), permite identificar de forma clara os diferentes tipos de energia envolvidos na conversão da radiação solar incidente nos coletores em energia térmica do fluido que circula no interior dos mesmos.

$$C \frac{dT}{dt} = Q_{abs} - Q_p - Q_{tf} \quad (3.3)$$

Onde,

C : Capacidade térmica do coletor [J/K];

Q_{abs} : Energia absorvida [W];

Q_p : Energia perdida [W]

Q_{tf} : Energia transferida para o fluido [W];

T : Temperatura [K];

t : tempo [s];

A Equação (3.4) descreve o cálculo da energia que é absorvida pelo coletor.

$$Q_{abs} = G_c \cdot A_a \cdot (\tau\alpha) \quad (3.4)$$

Onde,

G_c : Irradiância no plano do coletor [W/m²];

A_a : Área de abertura do colector [m²];

$(\tau\alpha)$: Rendimento ótico do coletor, também representado por η_0 ;

τ : Transmitância;

α : Absorvância;

Na Equação (3.5) é caracterizada a energia relativa às perdas no coletor.

$$Q_p = U_L (T_{mp} - T_a) A_a \quad (3.5)$$

A Equação (3.6) representa a energia que é transferida para o fluído que circula no interior dos coletores.

$$Q_{tf} = \dot{m} \cdot c_p (T_s - T_e) = Q_u \quad (3.6)$$

Onde,

\dot{m} : Caudal mássico [kg/s];

c_p : Calor específico do fluído de transferência [J/(kg.K)];

T_s : Temperatura do fluído à saída do coletor [K];

T_e : Temperatura do fluído à entrada do coletor [K];

Em condições estacionárias, isto é, quando se mantêm constantes as variáveis importantes que determinam a caracterização térmica de um coletor ao longo de um período de tempo definido, a Equação (3.3) é reformulada pois assume-se que não existe variação de temperatura significativa nesse período de tempo, pelo que a energia transferida para o fluído (Q_{tf}) é dada pela diferença entre a energia que é absorvida pelo coletor (Q_{abs}) e a energia perdida pelo mesmo (Q_p), como se pode verificar na Equação (3.7).

$$C \frac{dT}{dt} = 0 \Leftrightarrow Q_{tf} = Q_{abs} - Q_p \quad (3.7)$$

Assim, para o caso estacionário, a medida da performance do coletor é dada pela eficiência do coletor, sendo definida como a razão entre os ganhos úteis e a energia solar incidente no plano do coletor, como se observa na Equação (3.8):

$$\eta = \frac{Q_u}{G_c \cdot A_a} \quad (3.8)$$

Onde,

η : Eficiência do coletor;

O rendimento instantâneo de um coletor pode assim ser definido pela Equação (3.9) que resulta na manipulação e junção das equações (3.4), (3.5) e (3.8).

$$\eta = \eta_0 - \frac{U_L(T_{mp} - T_a)}{G_c} \quad (3.9)$$

Os ganhos úteis do coletor podem assim ser calculados através da Equação (3.10), que resulta da manipulação das equações (3.8) e (3.9).

$$Q_u = A_a [G_c \cdot \eta_0 - U_L(T_{mp} - T_a)] \quad (3.10)$$

Contudo a equação anterior (3.10) revela-se pouco prática devido à dificuldade em definir a temperatura média da placa do absorsor. É conveniente definir uma grandeza que relacione o ganho útil de energia atual do coletor se toda a superfície do coletor se encontrasse à temperatura média do fluído. Esta quantidade é definida como fator de eficiência do coletor (F') e é definido pela Equação (3.11).

$$F' = \frac{\dot{m} \cdot c_p (T_s - T_e)}{A_a [G_c \cdot \eta_0 - U_L(T_{mf} - T_a)]} \quad (3.11)$$

O ganho máximo de energia útil possível ocorre quando o coletor se encontra na totalidade à temperatura média do fluido. O ganho de energia útil atual resulta da multiplicação do fator F' pelo ganho máximo de energia útil, apresentando-se assim a Equação (3.12).

$$Q_u = F' \cdot A_a [G_c \cdot \eta_0 - U_L (T_{mf} - T_a)] \quad (3.12)$$

Onde:

U_L : Coeficiente global de perdas [$W/(m^2.K)$], onde $U_L = U_{L1} + U_{L2}(T_{mp} - T_a)$;

É importante salientar que existem diversos métodos para caracterizar um coletor solar térmico, variando os modelos no número de parâmetros analisados e consequentemente na sua complexidade. A seleção e escolha do modelo adequado dependem das condições em que o coletor vai operar, isto é, se o coletor funcionar sob condições restritas, o que se verifica na maior parte das aplicações de aquecimento de água, o modelo mais simples é adequado para simular o seu funcionamento. No entanto quando as condições de operação são fortemente variáveis, torna-se necessário utilizar modelos mais complexos.

Para o ensaio de coletores com cobertura em regime estacionário, o rendimento instantâneo pode ser calculado através da Equação (3.13) que resulta da aplicação das Equações (3.8), (3.12) e da definição do coeficiente global de perdas .

$$\eta = F' \eta_0 - a_1 \frac{T_{mf} - T_a}{G_c} - a_2 G_c \left(\frac{T_{mf} - T_a}{G_c} \right)^2 \quad (3.13)$$

Onde,

η_0 : Rendimento ótico do coletor;

a_1 : Coeficiente de perdas primário [$W/(m^2.K)$] onde $a_1 = F' U_{L1}$;

a_2 : Coeficiente de perdas secundário [$W/(m^2.K^2)$] onde $a_2 = F' U_{L2}$;

T_{mf} : Temperatura média do fluido de transferência de calor [K];

G_c : Irradiância no plano do coletor [W/m^2];

O rendimento ótico e os coeficientes de perdas (primário e secundário) são características técnicas do coletor, determinados pela entidade certificadora.

Na Figura 3.7 está ilustrada a curva de rendimento de um coletor em função da diferença entre a temperatura do absorvedor e a temperatura ambiente para diferentes valores de energia solar incidente.

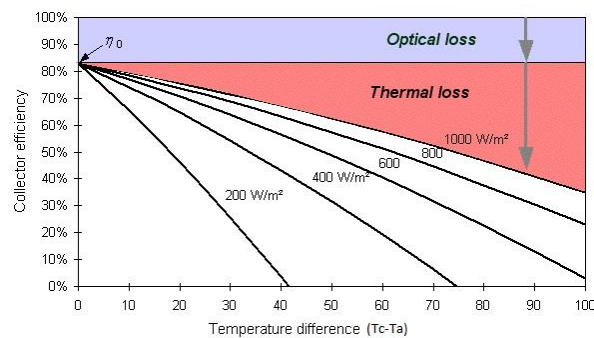


Figura 3.7 – Curvas de rendimento de um coletor solar [16]

Ao longo dos cálculos realizados neste trabalho, foi utilizada a Equação (3.14) para quantificar a energia que é necessária fornecer para se ter a temperatura desejada para um determinado consumo de AQS. Esta equação é similar à Equação (3.6), ambas quantificam o calor transferido para o fluido, contudo da Equação (3.14) resulta uma grandeza com unidades de energia, em oposição à unidade de potência da primeira equação. Outra diferença entre estas duas equações reflete-se nas temperaturas utilizadas. A diferença de temperatura utilizada na primeira equação (3.6) é relativa às temperaturas do fluido que circula no interior dos coletores (fluido de transferência de calor), ou seja, no circuito primário, enquanto que na Equação (3.14) se utiliza a diferença de temperatura que se encontra no depósito de acumulação (circuito secundário), mais especificamente a temperatura que os abastece (água da rede) e a temperatura que é aquecida nos depósitos e é encaminhada para o consumo de AQS.

$$Q_{consumo} = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{AQS} - T_{rede}) \quad (3.14)$$

Onde,

$Q_{consumo}$: Energia necessária ao consumo de AQS [J];

V : Volume de água a aquecer [m³];

ρ : massa volúmica da água [kg/m³];

c_p : calor específico da água a pressão constante [kJ/(kg.K)];

T_{AQS} : Temperatura requerida para o consume de AQS [K];

T_{rede} : Temperatura da rede [K];

3.2.5 Configurações dos Sistemas Solares

A configuração de um sistema descreve a relação entre os componentes chave num sistema solar de AQS, incluindo a localização do depósito de armazenamento em relação ao coletor solar, o modo como o calor circula, se está presente um permutador de calor e os métodos de controlo de temperatura e pressão. Assim existem dois tipos de sistemas: passivo e ativo, que diferem no modo como o fluido de transferência de calor é transportado.

Um sistema passivo é caracterizado por conter poucas partes móveis, não utiliza bombas nem controlos eletrónicos, o calor é armazenado e circulado de forma natural, são menos complexos e mais baratos de construir contudo têm restrições na localização.

Já os sistemas ativos utilizam eletricidade para alimentar uma bomba e os controladores, permitem uma escolha mais diversificada na localização dos componentes, permitindo também uma melhor gestão da energia térmica.

As instalações de energia solar térmica a instalar em habitações, comércio ou similares, destinadas a proporcionar água quente sanitária ou de aquecimento, adotam duas configurações distintas: o sistema termossifão (sistema passivo) e o sistema de circulação forçada (sistema ativo). Estas configurações são bastante diferentes quer ao nível das prestações e benefícios, como em dificuldade de montagem. Dentro destas duas tipologias existem múltiplas formas de montagem baseadas no método utilizado para o sistema de transferência térmica e no tipo e número de coletores utilizados.

3.2.5.1 Sistema termossifão

O sistema termossifão baseia-se no aproveitamento do princípio físico que permite que o movimento do fluido térmico entre os coletores e o depósito acumulador se produza sem intervenção de mecanismos auxiliares, como a bomba de circulação utilizada no sistema de circulação forçada. É um sistema simples e económico em que a circulação do fluido térmico ocorre por convecção natural, ou seja, com o aumento da temperatura a densidade do fluido diminui permitindo que este suba ao longo do coletor até ao topo do depósito acumulador, dando-se o retorno após o arrefecimento, quando o fluido fica mais pesado. A circulação natural mantém-se enquanto existir o gradiente de temperatura entre os extremos do circuito.

É um sistema que apresenta algumas limitações pois apresenta como consequência o facto de ser necessário colocar o acumulador no exterior e a uma altura superior à dos coletores. Contudo é um sistema com boas performances, utilizado em pequenas habitações com reduzido consumo de AQS.

Na Figura 3.8 apresenta-se o esquema de um sistema termossifão básico.

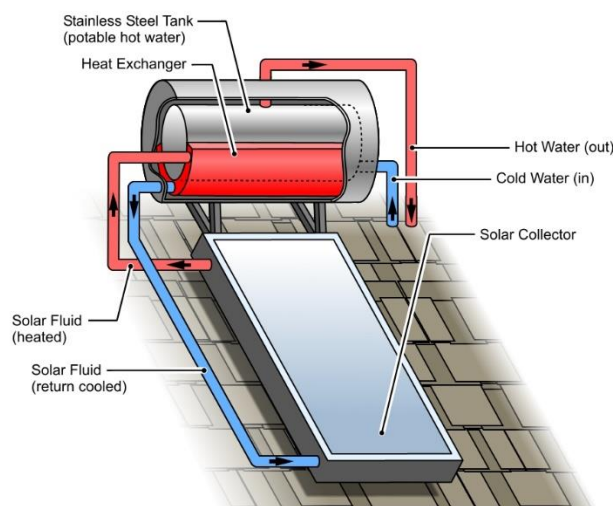


Figura 3.8 – Funcionamento de um sistema termossifão [17]

3.2.5.2 Sistema circulação forçada

Quando existe a necessidade de um caudal de água quente maior é normalmente utilizado o sistema de circulação forçada. Este sistema possibilita a incorporação de meios eletrónicos de controlo de temperaturas e também a colocação do depósito acumulador de AQS no interior do edifício.

A circulação do fluido do circuito primário é realizada através de uma bomba elétrica comandada pelo sistema de controlo. O sistema de controlo faz arrancar e parar a bomba em função do diferencial de temperatura definido, que corresponde ao diferencial entre os coletores solares e o acumulador. É necessária a instalação de sondas de temperatura colocadas na saída do coletor e na parte inferior do acumulador.

Na Figura 3.9 encontra-se representado um sistema de circulação forçada.

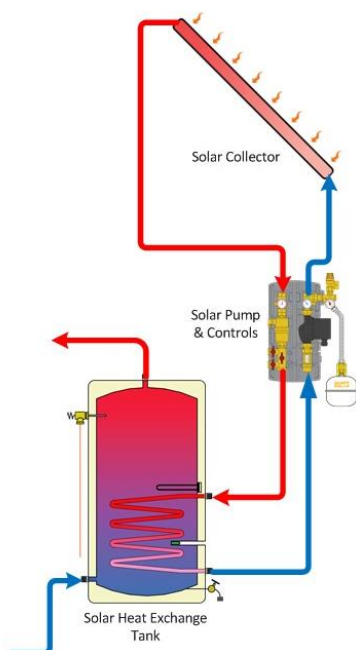


Figura 3.9 – Funcionamento de um sistema de circulação forçada [18]

3.2.6 Interligação entre coletores

A maior parte dos sistemas de AQS requerem mais do que um coletor para satisfazer as necessidades de aquecimento, sendo assim necessário dispor várias séries de coletores, acoplando-os de forma a garantir os caudais previamente calculados.

Existem três tipos possíveis de ligações: em série, em paralelo ou paralelo de canais, contribuindo estas de diferentes formas para a instalação.

3.2.6.1 Coletores em paralelo

Neste tipo de ligação é necessário realizar a denominada alimentação invertida (Figura 3.10), de forma a que o circuito esteja hidraulicamente equilibrado.



Figura 3.10 – Ligação em paralelo com alimentação invertida

A montagem dos coletores em paralelo aumenta o caudal, uma vez que o total deste irá corresponder à soma dos caudais unitários de cada coletor. O limite dos painéis dispostos em paralelo é determinado pelas perdas de carga, sendo geralmente recomendado pelo fabricante.

3.2.6.2 Coletores em paralelo de canais

A ligação em paralelo pode ser feita em paralelo de canais (Figura 3.11), tendo como vantagem o facto de necessitar de um menor comprimento de tubagens. Apresenta apenas uma limitação, pois o número máximo aconselhável de coletores que se deve ligar em paralelo de canais é de quatro coletores [19].



Figura 3.11 – Ligação em paralelo de canais

3.2.6.3 Coletores em série

Na disposição em série é possível aumentar a temperatura do fluido térmico. Cada coletor incrementa a temperatura do fluido que o percorre interiormente, o que supõe que o incremento final é dado pela soma dos incrementos parciais.

Nesta configuração o caudal não varia mas sim o salto térmico, o que provoca uma redução no rendimento nos últimos coletores da série.

De forma a determinar o número máximo de coletores que podem ser ligados em série é necessário ter em conta que a temperatura verificada nos últimos coletores pode ser elevada e provocar danos nos materiais ou formação de vapor no circuito.

Na Figura 3.12 encontra-se representado o esquema de montagem de coletores em série.



Figura 3.12 – Ligação em série.

3.3 Gás Natural

3.3.1 Características do Gás Natural

O gás natural é resultante da decomposição de matéria orgânica fóssil no interior da Terra que se encontra acumulada em formações rochosas subterrâneas, ficando exposta a um forte calor e pressão ao longo dos anos.

Quimicamente, é uma mistura de hidrocarbonetos leves e pequenas quantidades de inertes, onde o metano (CH_4) predomina na ordem dos 90%. Apresenta uma massa volúmica de $0,8404 \text{ kg/Nm}^{3(1)}$ [20] e uma densidade inferior à do ar, conferindo-lhe boa segurança em caso de fuga devido ao rápido escoamento ascensional. O poder calorífico inferior (PCI) representa a energia libertada sob a forma de calor que se forma numa reação de combustão sendo o seu valor para o gás natural de $45,1 \text{ MJ/kg}$ [20]. A diferença entre o PCI e o poder calorífico superior (PCS) apenas reside no facto de este último considerar como útil a energia que estará contida na vaporização da água, energia de calor latente relativa à condensação do vapor de água produzido na combustão de uma unidade de massa do referido combustível.

O gás natural permanece no estado gasoso à temperatura ambiente e pressão atmosférica, o que lhe confere o mínimo de processamento, isto é, não sofre transformações entre a origem e a utilização final. Gera assim menos emissões na produção, tornando-o um combustível com um papel importante na redução do dióxido de carbono e outras emissões atmosféricas.

Por questões de segurança, o gás natural é obrigatoriamente odorizado, normalmente com tetrahidrotiofeno (THT) quando entregue à rede de distribuição [21].

O gás natural possui algumas características que o tornam num combustível a utilizar, como o facto de possuir uma chama fácil e finamente regulável com temperatura constante, fácil uso, ausência de necessidade de armazenamento no local de consumo e também pela razão de ser menos poluente quando comparado com outros combustíveis fósseis.

Esta última característica deve-se à relação Carbono/ Hidrogénio (C/H) dos combustíveis fósseis, onde o gás natural sendo maioritariamente composto por CH_4 apresenta a melhor relação C/H, possuindo apenas um átomo de carbono para quatro de hidrogénio, formando assim uma quantidade menor de dióxido de carbono.

Na Tabela 3.1 é possível observar os rácios C/H para diferentes combustíveis e a quantidade de CO_2 libertada.

Tabela 3.1 – Rácio C/H e CO_2 libertado para diferentes combustíveis [22]

	Rácio C/H	CO_2 libertado ($\text{kgCO}_2\text{e/GJ}$)
Gás Natural	1/4	64,1
Petróleo	1/2	97,5
Carvão	1/1	94,5

⁽¹⁾ O metro cúbico normalizado surge da necessidade de definir condições padrão de medida ou leitura visto os gases serem compressíveis, ou seja, terem a propriedade de variar o seu volume com a variação da pressão e/ou da temperatura. Assim a grandeza diz-se normalizada quando são utilizadas as condições padrão: 1,013 bar (1 atm), 0°C e 0% de humidade relativa.

3.3.2 Consumo Gás Natural

Como se pode observar pela Figura 3.13, tem-se verificado nos últimos anos uma maior percentagem de gás natural para o mercado convencional do que para o mercado elétrico, sendo este último considerado como o segmento de mercado das centrais térmicas a gás natural que produzem energia elétrica em regime ordinário (PRO).

É de notar também que nos últimos anos a percentagem de gás natural destinado ao mercado convencional é muito superior à do mercado elétrico, quando comparados com início dos anos 2000. Para além de haver fatores influenciadores como a descida do preço do carvão, a par da redução de consumo deste último na China, e ainda o aparecimento do *shale gas* que veio afetar os preços dos combustíveis fósseis, as energias renováveis também tiveram um peso importante. Segundo um comunicado da APREN [23], 2014 foi o ano mais renovável onde 62,7% do total de energia elétrica consumida foi produzida por fontes de energia renováveis.

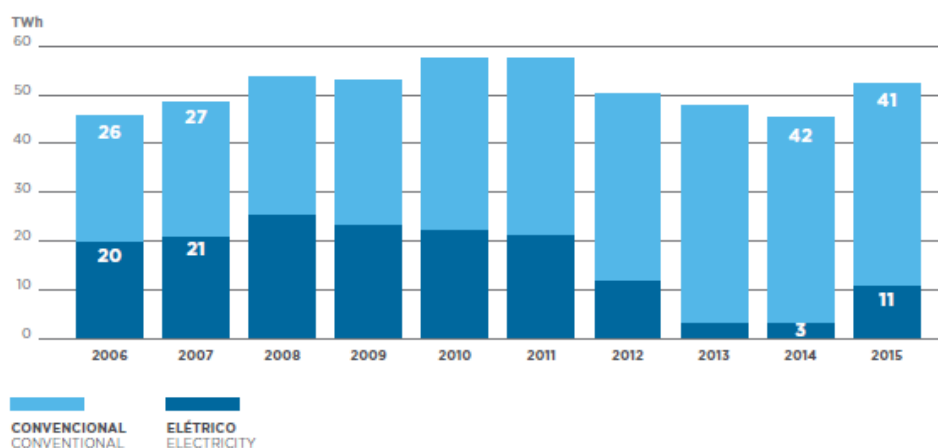


Figura 3.13 – Evolução do consumo de gás natural [24]

3.3.3 Vantagens e utilizações

O gás natural é uma energia cómoda, segura e com um preço bastante competitivo, sendo assim uma fonte energética adequada para uma ampla gama de utilizações. Apresenta diversas aplicações tanto no sector doméstico, comércio e serviços, como também no sector industrial.

Na Tabela 3.2 encontram-se representados os preços para diferentes produtos energéticos de 2011 a 2013.

Tabela 3.2 – Preços médios de importação de Produtos Energéticos [1]

USD/GJ	2011	2012	2013
Gás Natural	9,17	10,00	10,00
Coque de Petróleo	4,08	2,86	2,81
Gasóleo	22,84	23,25	22,20
GPL	22,79	22,40	20,79
Fuelóleo	15,79	17,13	16,66

Como é possível verificar pela Tabela 3.2, o gás natural apresenta-se bastante competitivo quando comparado com outros produtos energéticos como o gasóleo, GPL e fuelóleo, contudo o preço do coque de petróleo é bastante inferior ao do gás natural. De entre os combustíveis mencionados acima, o gás natural é o segundo mais competitivo a nível económico.

Na Figura 3.14 é possível verificar que o gás natural é o combustível fóssil com menores emissões de CO₂ e com o PCI mais elevado.

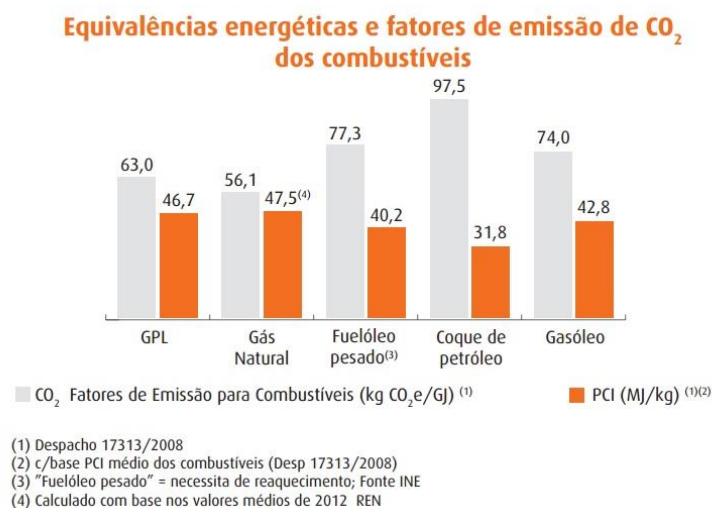


Figura 3.14 – Fatores de emissão de CO₂ e PCI para diferentes combustíveis [25]

Comparando novamente o gás natural e o coque de petróleo é possível verificar pela Figura 3.14 que o PCI do gás natural é cerca de 1,5 vezes superior ao do coque do petróleo e relativamente aos fatores de emissão confirma-se que o gás natural emite pouco mais de metade quando comparado com o coque de petróleo.

Contudo a sua composição pode variar consoante o campo em que o gás é produzido, o processo de produção, o condicionamento, o processamento e o transporte. Apresenta em menores quantidades etano, propano, butano, azoto e alguns nocivos e inertes.

Este é considerado pouco poluente porque por unidade de energia produzida liberta menores quantidades de dióxido de carbono, o seu teor de enxofre é residual e também por não produzir cinzas nem resíduos sólidos.

No projeto em estudo, a caldeira de condensação a gás natural serve de apoio principal ao sistema de energia solar, tendo como objetivo o aquecimento de AQS e aquecimento central através de radiadores. O sistema de apoio secundário é composto por duas resistências elétricas que apenas servem as eventuais necessidades de AQS.

A facilidade de abastecimento do gás natural apresenta-se como uma grande vantagem relativamente à energia solar: está disponível 24h por dia, 365 dias por ano, sendo assim uma boa opção para o sistema de apoio. Quando comparado com a eletricidade, o gás natural apresenta também uma vantagem económica superior devido ao facto de que este último competir com um preço €/kWh inferior ao da eletricidade, sendo apenas equiparado quando o consumo de eletricidade se dá no período de vazio.

3.3.4 Caldeira de condensação

Os produtos típicos de uma combustão são vapor de água e CO_2 . As caldeiras de condensação conseguem alcançar eficiências mais elevadas quando comparadas com as caldeiras convencionais pelo facto de aproveitarem o calor latente do vapor de água existente nos gases de combustão, ou seja, utilizam a energia libertada pela condensação do vapor.

As caldeiras de condensação são assim capazes de recuperar parte do calor que seria perdido através dos gases residuais que são libertados na combustão. Estes gases são encaminhados para um permutador de calor que vai arrefecê-los e condensá-los transformando-os num líquido designado por condensado. Este calor recuperado é utilizado para aquecer a água que retorna dos radiadores e da água de consumo quando esta dá entrada na caldeira, aumentando assim a eficiência da caldeira.

A vantagem principal deste tipo de caldeiras é a recuperação do calor latente, contudo estas, pelo fato de apresentarem uma melhoria na eficiência, reduzem o consumo do combustível, apresentando assim uma redução na emissão de gases de combustão, trazendo vários benefícios ambientais. O condensado forma um filme constante que pode remover grandes partículas e dissolver grande parte da matéria inorgânica dissociada, como o ácido sulfúrico e os cloretos.

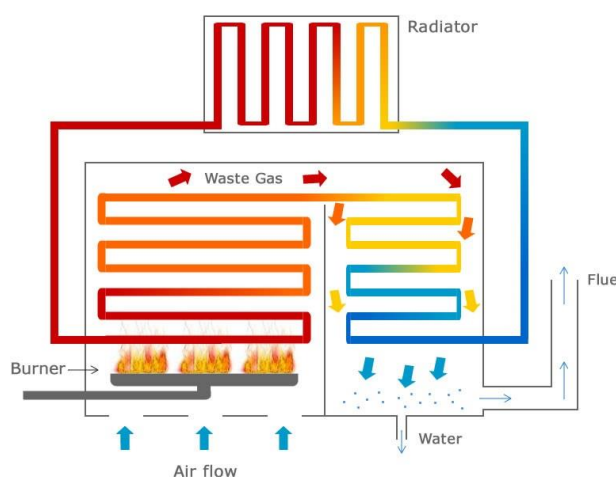


Figura 3.15 – Representação esquemática de uma caldeira de condensação [26]

3.4 Eletricidade

3.4.1 Consumo de eletricidade

Como é possível verificar pela Figura 3.16, tem-se verificado ao longo dos anos um aumento da produção de eletricidade através de fontes de energias renováveis, tornando-a cada vez mais num tipo de energia menos poluente quando comparada com a sua produção no início dos anos 2000, caracterizada principalmente por centrais a carvão e gás natural.

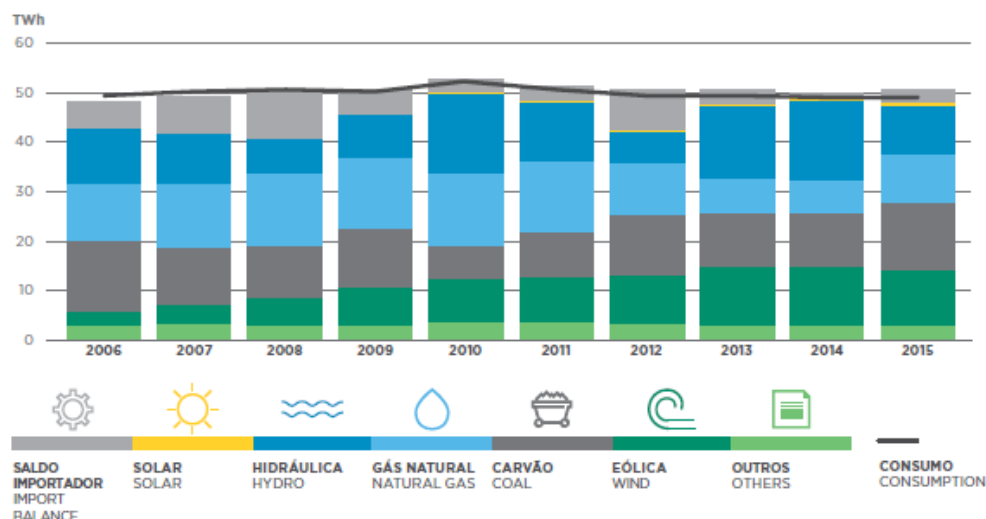


Figura 3.16 – Desagregação da produção de eletricidade por fonte de energia primária [24]

A energia eólica tem vindo a ter um impacto cada vez mais significativo na produção de eletricidade, assim como a energia solar fotovoltaica que nos últimos três anos surge no balanço da produção de energia elétrica, no entanto com um peso muito menor que a energia eólica e hídrica.

É de salientar o facto de ainda se utilizar de forma considerável as centrais termoelétricas a carvão, que deveriam ter um peso menor devido às altas emissões de dióxido de carbono e à sua eficiência que é menor que as centrais de ciclo combinado a gás natural, que apesar de também ser um combustível fóssil apresenta menores emissões de poluentes, como é possível verificar pela Figura 3.14.

Na Figura 3.17 encontra-se apresentado com mais detalhe a integração das diferentes fontes de energia renovável na produção de eletricidade.

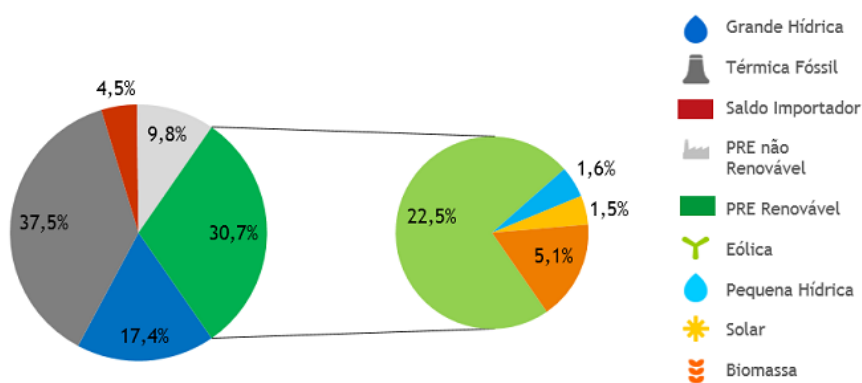


Figura 3.17 – Integração das diferentes fontes de energia renovável na produção de eletricidade em Portugal em 2015 [27]

No primeiro semestre de 2015 verificou-se que as energias renováveis tiveram um peso de 30,7% na produção de eletricidade, sendo grande parte desta parcela proveniente da energia eólica.

Como meio de comparação, é possível constatar pela Figura 3.18, que as energias renováveis têm vindo a ter um peso cada vez mais significativo na produção de eletricidade, tendo-se verificado um aumento de 23 pontos percentuais no ano de 2015 em relação a 1999.

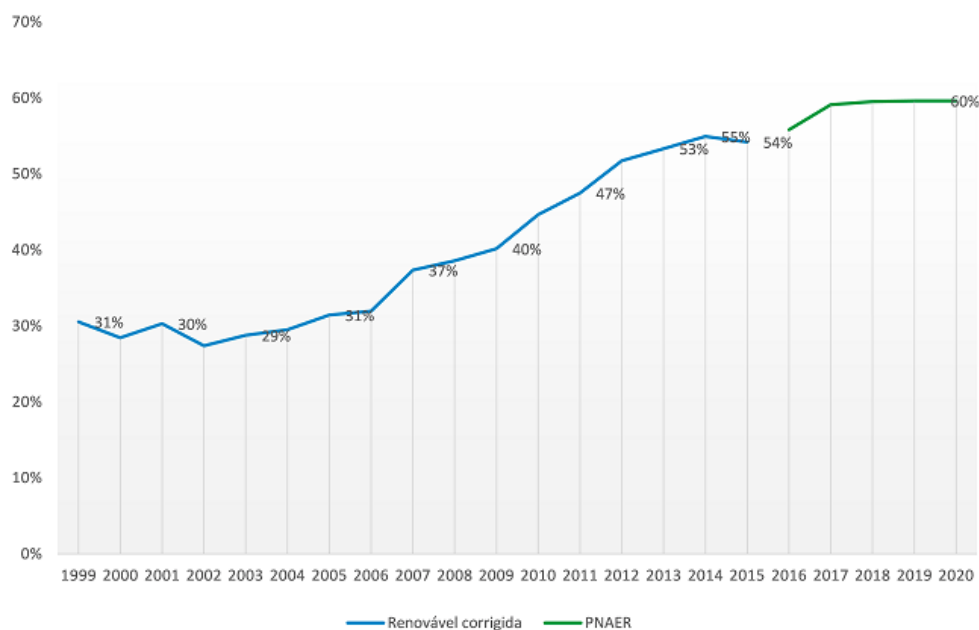


Figura 3.18 – Evolução da contribuição da eletricidade de origem renovável em Portugal (com correção de hidraulicidade) e estimativa do PNAER [28]

3.4.2 Integração da eletricidade como sistema de apoio nos sistemas AQS

Como já foi referido, a energia solar térmica não está sempre disponível pelo que é necessário recorrer a um sistema de apoio que suprima as necessidades de consumo quando o sistema solar não garante as temperaturas mínimas para satisfazer as necessidades de AQS.

Este sistema de apoio deve ser assegurado de forma a garantir a prioridade ao sol para que a poupança de energia seja a maior possível.

A configuração utilizada consiste na integração de uma resistência elétrica na parte superior do depósito acumulador que pode ser controlada através de um termostato que regula a temperatura de água no depósito. Quando a temperatura na parte superior do depósito é inferior à temperatura pré-definida no termostato, este aciona a resistência elétrica.

Pode também ser utilizada uma central de controlo que faz a gestão de todo o sistema solar, incluindo o apoio, não sendo assim necessária a utilização de um termostato.

Em ambos os casos deve existir um sistema de segurança para que não seja ultrapassada a temperatura máxima do depósito estipulada pelo fabricante.

4 Caso de Estudo Casa Minha

4.1 Análise do Edifício e da Instalação existente

O edifício Casa Minha é um edifício de serviços, mais especificamente uma residência geriátrica, que tem como missão promover a qualidade de vida e do bem-estar biopsicossocial através de serviços especializados de saúde, encontrando-se localizado no Carregado, concelho de Alenquer.

É constituído por cinco pisos sendo o piso térreo destinado a serviços e zonas de apoio e os restantes quatro a zonas de estar/refeições e quartos.

No que diz respeito à produção de AQS e à alimentação do sistema de aquecimento central, constituído por radiadores de parede, o edifício possui uma caldeira a gasóleo (Figura 4.1), instalada num compartimento técnico localizado junto da entrada e um depósito de acumulação de energia térmica com a capacidade de 500 litros (Figura 4.2), instalado numa zona técnica localizada na cobertura do edifício. Esta configuração do sistema aumenta as perdas térmicas ao longo do mesmo, visto a caldeira encontrar-se 4 pisos a baixo do depósito de acumulação.



Figura 4.1 – Caldeira a gasóleo pré-existente.



Figura 4.2 – Depósito acumulador pré-existente.

4.2 Projeto

O projeto proposto consistiu na substituição da caldeira a gasóleo por um sistema solar térmico com o apoio de uma caldeira de condensação a gás natural e ainda duas resistências elétricas. O sistema é composto por três depósitos acumuladores sendo que dois deles são alimentados pelo sistema solar térmico e por resistências elétricas e o terceiro depósito recorre à caldeira de condensação a gás natural. Os dois primeiros depósitos associados ao sistema solar térmico estão ligados em paralelo entre si e o terceiro depósito alimentado pela caldeira encontra-se ligado em série aos outros dois. A caldeira de condensação fornece energia diretamente ao sistema de climatização através dos radiadores já instalados e distribuídos pelos diversos pisos do edifício. Adicionalmente, fornece energia térmica para o terceiro depósito que é destinado ao AQS juntamente com os outros dois depósitos associados ao sistema solar térmico, ou seja, a caldeira possui dois circuitos distintos: o que aquece o depósito de acumulação para AQS e o que percorre o sistema de radiadores para climatização do edifício. O esquema hidráulico de todo o sistema encontra-se no Anexo 7.4.

Os depósitos acumuladores têm uma capacidade de 500 litros cada um, a caldeira de condensação possui uma potência de 45 kW, as resistências elétricas são de 3 kW cada e o sistema solar térmico é constituído por cinco coletores ligados em paralelo, existindo dois grupos de coletores, um que possui três coletores ligados em paralelo de canais e outro grupo com dois coletores também ligados em paralelo de canais, como é possível visualizar na Figura 4.3. De modo a que exista equilíbrio hidráulico no sistema foram colocadas duas válvulas que regulam o fluxo de fluido de transporte que circula no sistema em cada grupo de coletores.

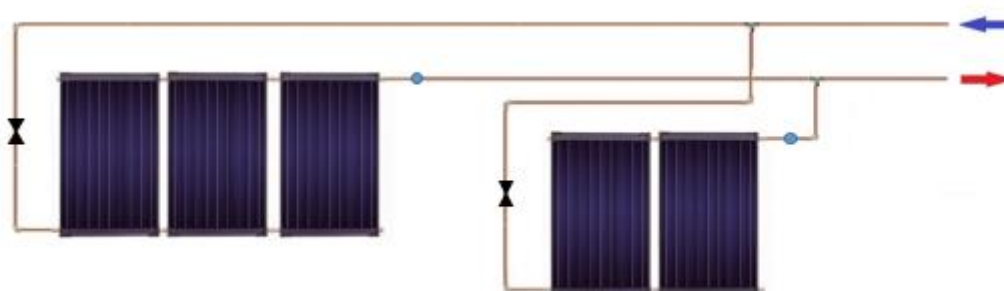


Figura 4.3 –Ligação dos coletores do projeto em estudo.

4.2.1 Dimensionamento

4.2.1.1 Volume de armazenamento

O volume de AQS foi dimensionado tendo em conta o consumo dos utilizadores do edifício, que tem de dar resposta a cerca de quarenta utilizadores.

O Regulamento de Edifícios de Habitação (REH) define que cada pessoa consome cerca de 40 litros por dia em AQS, o que se pretende satisfazer na íntegra com o sistema solar térmico e que perfeitamente uma necessidade total de 1600 litros por dia. Assim instalaram-se três depósitos acumuladores de 500 litros cada, totalizando 1500 litros. Desta forma o sistema instalado é cerca de 93,6% das necessidades totais.

Os termoacumuladores escolhidos (Figura 4.4) são da marca Thinktech, THK 2S 050, encontrando-se a ficha técnica no Anexo 7.1.



Figura 4.4 – Depósitos acumuladores instalados.

Estes depósitos foram instalados na zona técnica, no último piso do edifício.

4.2.1.2 Área de coletores

A área disponível para a instalação dos coletores solares apenas permitia a montagem de cinco coletores, cuja análise de desempenho do sistema solar térmico se realizou através do programa SolTerm e que se apresenta adiante.

Os coletores escolhidos são da marca Thinktech, THK 270, encontrando-se a ficha técnica no Anexo 7.2. As principais características dos mesmos encontram-se na Tabela 4.1, sendo estas: rendimento ótico (η_0), coeficientes globais de perdas primário e secundário (a_1 e a_2) e área de abertura (A_a).

Tabela 4.1 – Características técnicas dos coletores solares instalados.

η_0	0,77	-
a_1	4,23	W/(m ² .K)
a_2	0,0035	W/(m ² .K ²)
A_a	2,349	m ²

Na Figura 4.5 é possível visualizar os coletores solares instalados.



Figura 4.5 –Coletores solares instalados.

4.2.1.3 Distância entre coletores

Dada a limitação de espaço para a instalação dos coletores solares foi necessário colocar duas fileiras, uma com dois coletores e outra com três coletores.

Assim, foi necessário calcular qual a distância mínima a que as fileiras de coletores devem estar colocadas de forma a não provocarem sombra nos coletores posteriores.

Para latitudes entre 35° e 45° a fórmula de cálculo é a seguinte:

$$d_{\min} = 2 \times h_{\text{col}} \quad (4.1)$$

Onde,

$$h_{\text{col}} = \sin \beta \times L_{\text{col}} \quad (4.2)$$

As grandezas utilizadas encontram-se representadas na Figura 4.6.

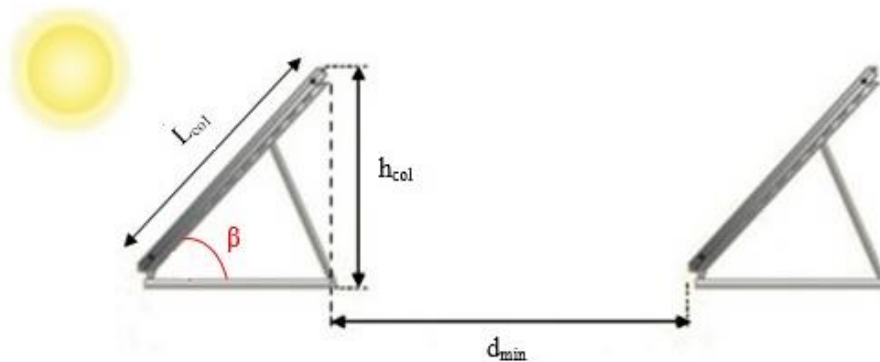


Figura 4.6 –Esquema de montagem com distância mínima entre fileiras de coletores.

Sendo o comprimento dos coletores de 2,130 m (Anexo 2) e a inclinação do mesmo de 45° obtêm-se os seguintes valores para a altura do coletor e distância mínima entre coletores, presentes na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Valores obtidos para a distância mínima entre coletores.

h_{col} [m]	d_{\min} [m]
1,506	3,012

4.2.1.4 Potência da caldeira de condensação

Com o objetivo de estimar a potência da caldeira de condensação foi necessário determinar a densidade de potência para o sistema de aquecimento. Para tal recorreu-se a um guia sobre Fontes de energia renováveis da Comissão Europeia [29]. Na Tabela 4.3 encontram-se representadas as necessidades de aquecimento comparadas para um edifício com isolamento médio e para um edifício bem isolado, ambos em função da área.

Tabela 4.3 – Necessidades de aquecimento comparadas.

Área total (m ²)	200	500	1000	2000	5000
Isolamento médio (W/m ²)	90	75	67	60	55
Edifício bem isolado (W/m ²)	40	33	30	27	25

O edifício em estudo possui um isolamento médio e uma área total de 610 m², pelo que foi realizada uma interpolação linear tendo-se obtido uma densidade de potência de aquecimento de 73,24 W/m². Desta forma, afetando as necessidades térmicas unitárias da área total do edifício é possível determinar uma potência de aquecimento de 44,68 kW, o que significa que a caldeira de condensação a gás natural necessita ter uma potência igual ou superior a este valor para suprir as necessidades de aquecimento. Escolheu-se assim uma caldeira mural de condensação Maxicondaqua de 45 kW (Figura 4.7), encontrando-se a ficha técnica no Anexo 7.3.



Figura 4.7 –Caldeira de condensação instalada.

4.2.2 Análise de desempenho do sistema solar térmico

Após realizado o dimensionamento do volume de armazenamento e caracterizado o consumo de AQS, tendo como limitação a instalação de cinco coletores e conhecendo o sistema de apoio, torna-se relevante realizar uma análise de desempenho do sistema solar térmico, de modo a perceber qual a fração solar que o sistema solar irá apresentar. Para tal utilizou-se a ferramenta SolTerm que é um programa de estudo de desempenho para sistemas solares térmicos, através do qual é possível realizar simulações numéricas de balanços energéticos ao longo de um ano de referência.

Primeiramente definiu-se a localização da instalação, sendo possível obter os dados da irradiação solar horizontal e da temperatura ambiente para o concelho de Alenquer (Figura 4.8).

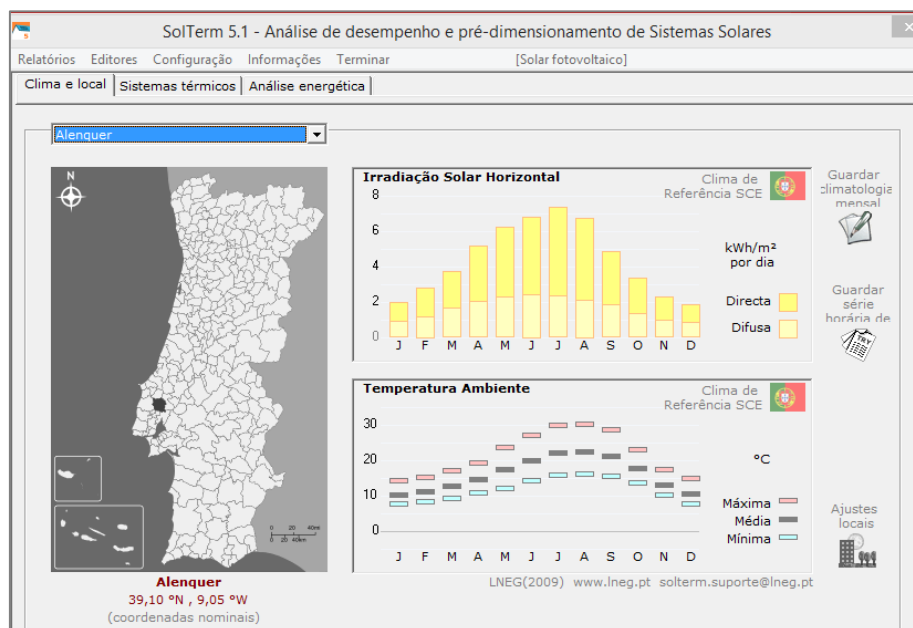


Figura 4.8 – Definição da localização.

Relativamente à opção “Ajustes locais” considerou-se que não existe uma obstrução significativa nos coletores, visto ter sido cumprida a distância mínima entre estes, e obstáculos exteriores (Figura 4.9). Foi considerado um conteúdo médio em aerossóis e poluição e um albedo do solo de 20%.

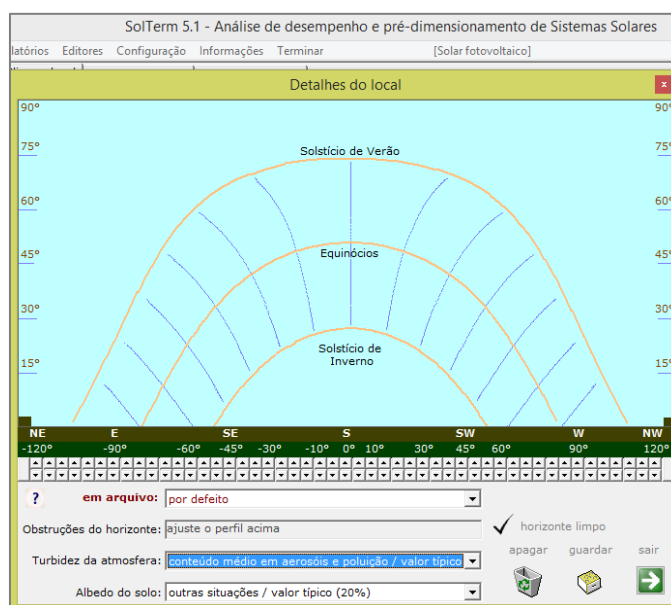


Figura 4.9 –Detalhes do local.

De seguida procedeu-se à caracterização do sistema solar térmico, tendo sido criado um novo modelo de coletor com as características referidas no certificado do coletor do Anexo 7.2, visto não existir na lista de coletores do SolTerm a marca Thinkteck. Foi inserido o rendimento ótico, os coeficientes globais primário e secundário de perdas (a_1 e a_2), a área de abertura dos coletores, a inclinação de 45° e o azimuth Sul, e o número de painéis instalados (Figura 4.10) e ainda os modificadores de ângulo do coletor (Figura 4.11).

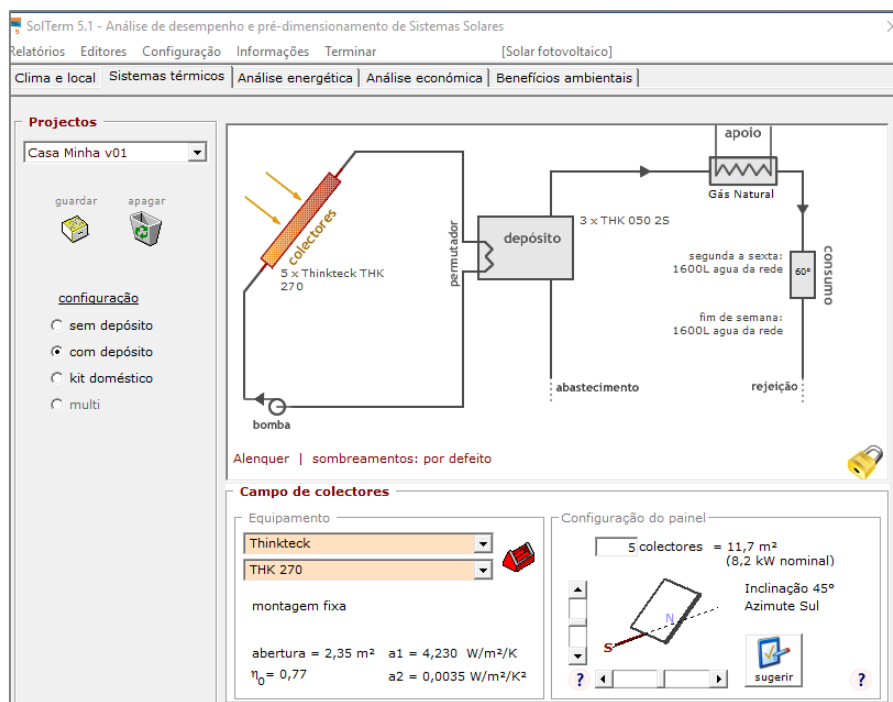


Figura 4.10 –Caracterização dos coletores solares térmicos.

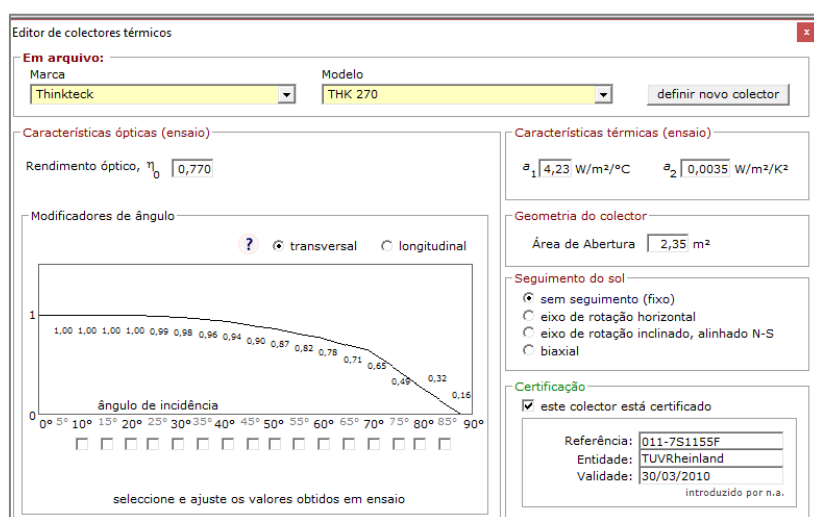


Figura 4.11 – Caracterização dos coletores solares térmicos.

Quanto às tubagens do circuito primário, estimou-se que estas totalizam 15 m, sendo 10 m no exterior e 5 m no interior. O tubo de cobre apresenta uma condutividade térmica de aproximadamente 398 W/(m.K) a 60 °C [30], uma espessura de 1 mm e um diâmetro nominal de 18 mm. O isolamento foi

feito utilizando mangas de isolamento de polietileno que possui uma condutividade térmica de $0,040 \text{ W/(m.K)}$ e uma espessura de 10 mm [31] (Figura 4.12).

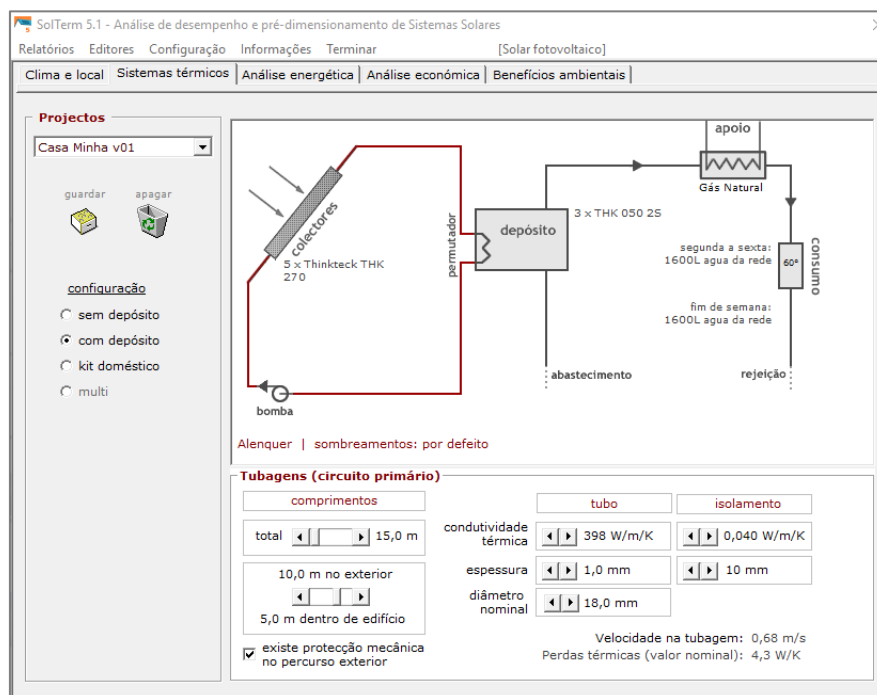


Figura 4.12 – Caracterização da tubagem do circuito primário.

Relativamente ao depósito também foi necessário proceder à criação de um novo modelo de 500 litros de capacidade, com o permutador de calor interno, depósito interior e vertical, de metal vitrificado e com as características presentes na ficha técnica do Anexo 7.1 (Figuras 4.13 e 4.14).

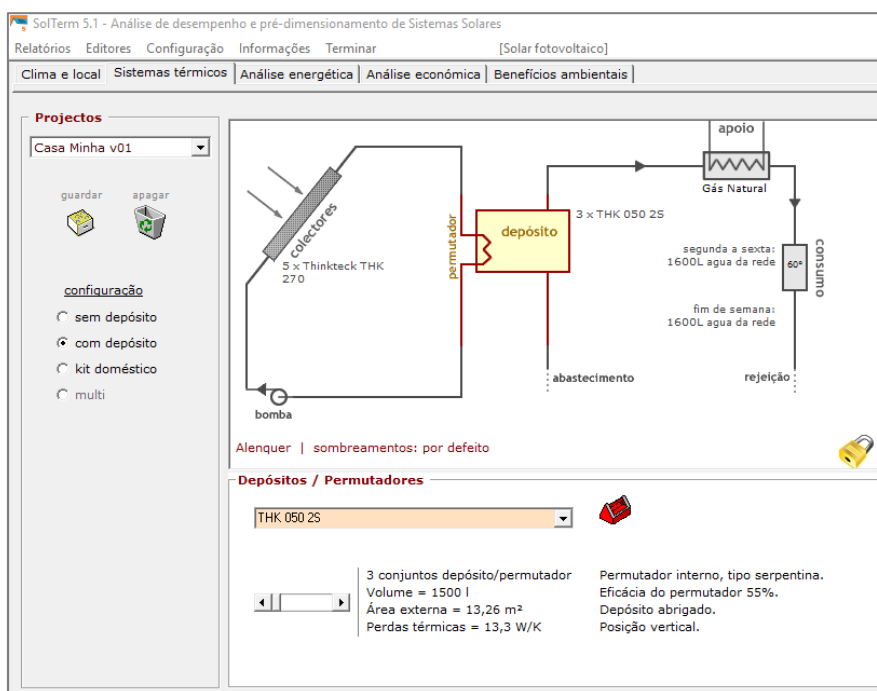


Figura 4.13 – Caracterização do depósito.

Editor de tanques de armazenamento / permutadores

em arquivo: THK 050 2S

Permutador de calor

☒ interno ☐ de camisa ☐ externo Eficácia 55%

Depósito

Localização: ☒ interior ☐ exterior

Posição: ☐ horizontal ☒ vertical ☒ existem deflectores internos

Material: ☐ cobre ☐ inox ☐ plástico ☒ metal vitrificado

Características geométricas: Volume = 500 l Área externa: 4,42 m² caso de cilindros

Coefficiente de perdas térmicas: Global: 4,4 W/K Específico: 1,000 W/m²/K sugerir

Figura 4.14 – Especificações do depósito e do permutador de calor.

No que diz respeito ao consumo, foi necessário caracterizá-lo, definindo um consumo de 600 litros das 8h às 9h e das 9h às 10h que se destina a banhos, o que totaliza 1200 litros. Os restantes 400 litros foram distribuídos pelos horários das refeições como se pode observar pela Figura 4.16.

Este consumo realiza-se de igual forma nos 7 dias da semana e nos 12 meses do ano. Considerou-se uma temperatura da água aquecida de 60 °C pois foi este o valor estabelecido no dimensionamento, sendo também o valor recomendado em regulamento (REH) (Figuras 4.15 e 4.16).

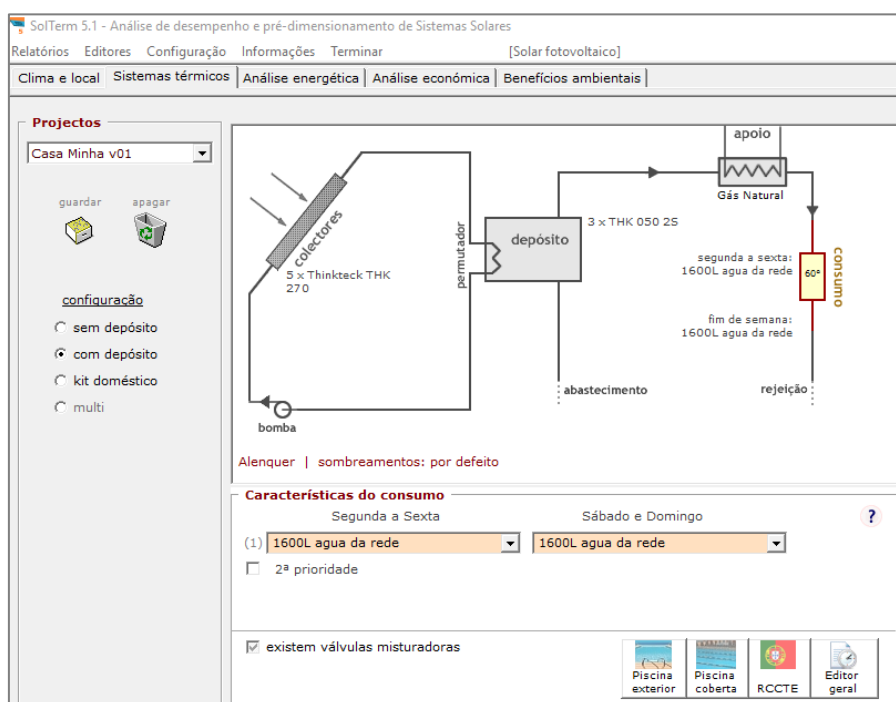


Figura 4.15 – Caracterização do consumo.

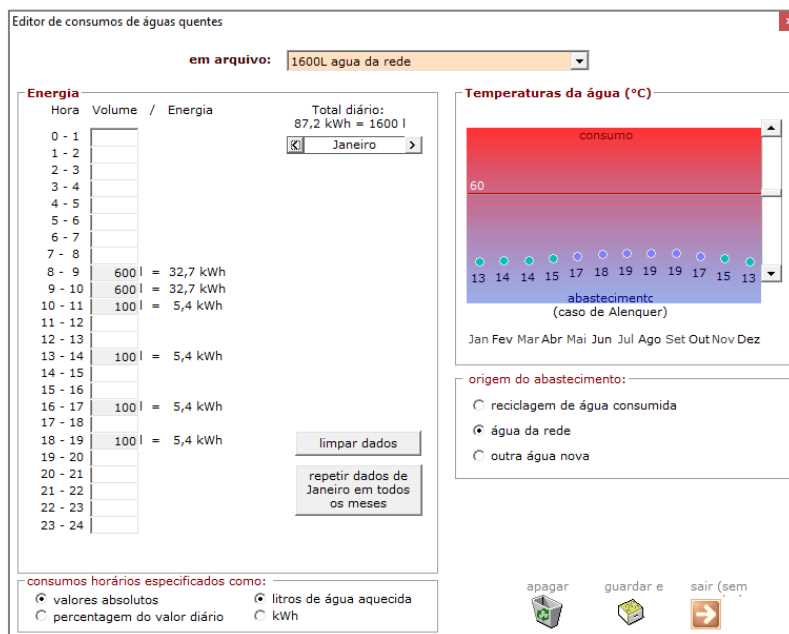


Figura 4.16 – Especificações do consumo e da temperatura da água.

Quanto ao apoio, como já foi referido, os dois depósitos associados ao sistema solar térmico são apoiados por resistências elétricas, no entanto estas apenas servem como redundância do sistema e foram instaladas para salvaguardarem alguma avaria ou emergência ou para servirem o sistema em caso de manutenção da caldeira. O sistema de apoio é a caldeira de condensação a gás natural, que como se pode verificar pela ficha técnica do Anexo 7.3, apresenta um rendimento relativo ao PCI, para temperaturas no intervalo de 50 °C-30 °C de 107,7% e para temperaturas entre 60 °C-80 °C um rendimento de 98,2%. Tendo em conta que a temperatura definida foi de 60 °C, o rendimento global considerado foi de 98,2%. (Figura 4.17).

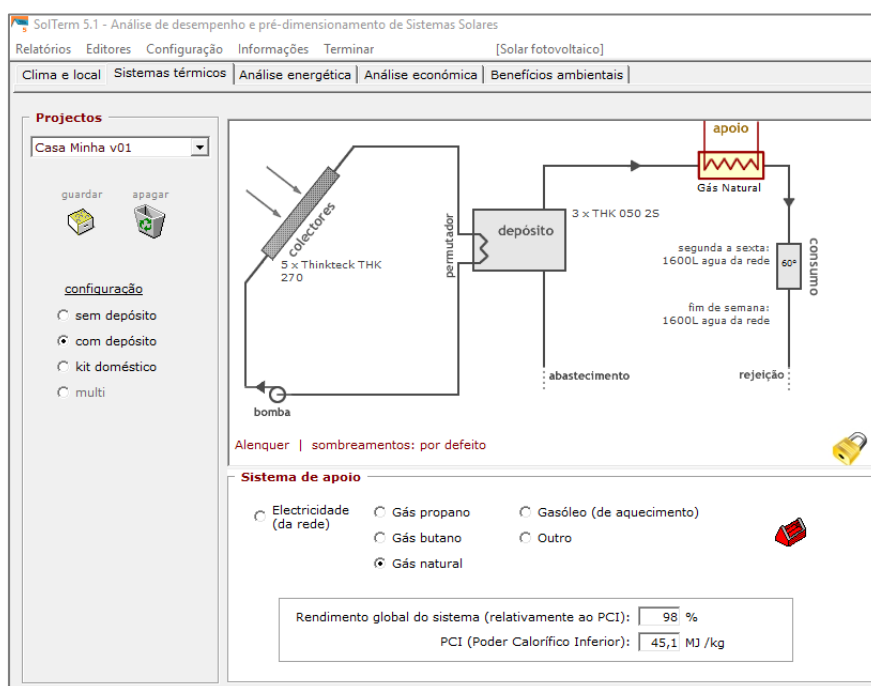


Figura 4.17 – Caracterização do apoio.

Após concluída a caracterização do sistema solar térmico foi possível obter a análise energética deste. A análise energética dá-nos o desempenho do sistema solar térmico, apresentando a energia acumulada da radiação solar global na horizontal e na superfície inclinada, esta última à face dos coletores solares, a energia dissipada acumulada, ou seja, a energia recolhida pelo sistema solar que tem de ser dissipada, a energia acumulada fornecida pelo sistema para o consumo, a carga que representa a energia solicitada para o consumo, e o apoio que mostra a energia acumulada entregue para consumo pelo sistema de apoio.

Desta análise obtém-se ainda a fração solar que representa a contribuição do sistema solar para o consumo solicitado, ou seja, é o rácio entre a energia fornecida pelo sistema solar e a carga, em valores anuais. É possível, ainda obter o rendimento do sistema, que é dado pela razão entre a energia de origem solar fornecida para consumo e a disponível à face dos coletores, e que representa a eficácia do sistema solar em transferir energia da radiação solar para a carga. É apresentada também a produtividade, que se trata da energia de origem solar fornecida para consumo por unidade de área dos coletores (Figura 4.18).

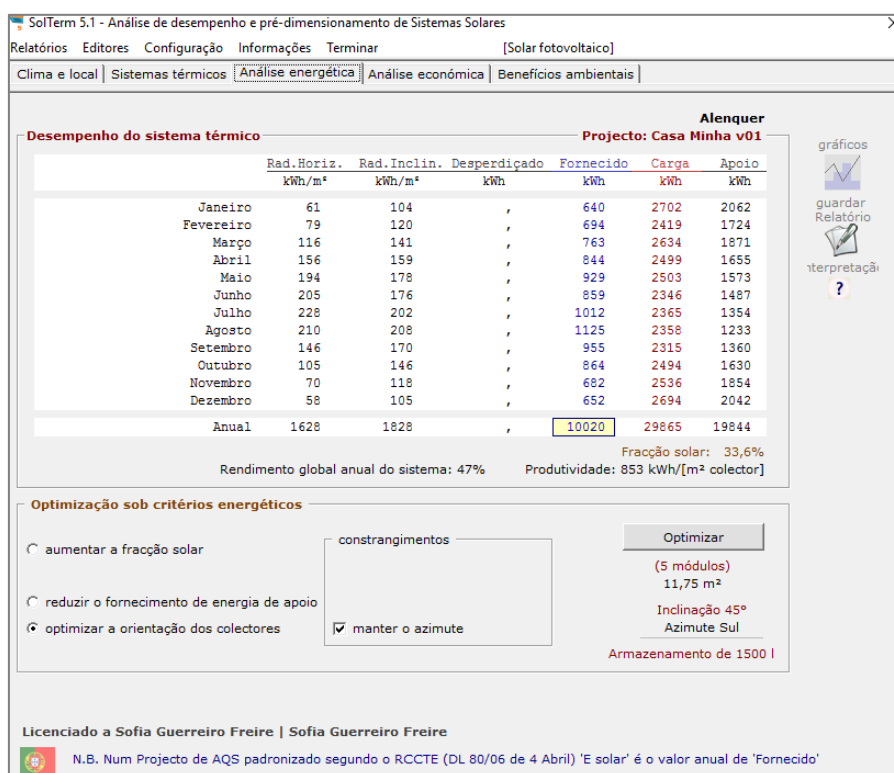


Figura 4.18 –Análise Energética.

Como é possível observar pela Figura 4.18, o sistema apresenta uma fração solar de 33,6%.

A energia fornecida pelo sistema solar apresenta um valor anual de cerca de 10 MWh (E_{solar}), sendo assim necessária a contribuição do gás natural em cerca de 19,8 MWh anuais para suprir as necessidades. O rendimento global anual do sistema é de 47% e a produtividade é de 853 kWh/m² de coletor. A produtividade é calculada através do quociente entre a energia solar fornecida anualmente e a área de coletores instalada e permite comparar diferentes soluções para um mesmo sistema.

Na Figura 4.19 encontra-se representado o gráfico onde é possível comparar a energia fornecida pelo sistema solar e pelo sistema de apoio.

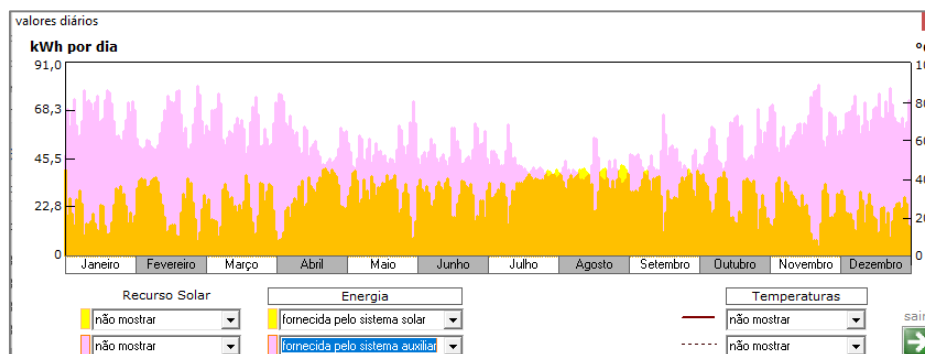


Figura 4.19 – Energia fornecida pelo sistema solar e pelo sistema auxiliar.

Pode verificar-se que nos meses de Inverno o sistema auxiliar tem um peso bastante importante no fornecimento de energia para suprir o consumo, enquanto que nos meses de Verão o sistema solar consegue fornecer mais energia, o que vai diminuir a contribuição do sistema de apoio.

Este facto também é bastante visível pela observação da Figura 4.20, onde se apresenta o diagrama de carga do consumo e a energia fornecida pelo sistema solar.

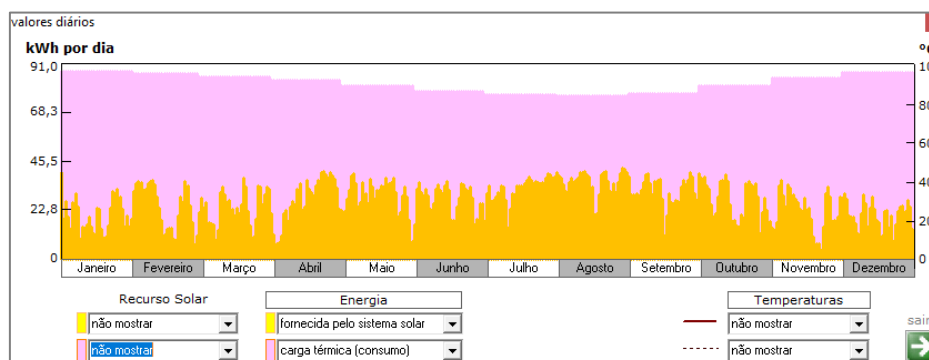


Figura 4.20 – Diagrama de carga do consumo e energia fornecida pelo sistema solar.

É possível verificar que a carga térmica é inferior nos meses de Verão o que se deve ao facto de a temperatura da água da rede apresentar valores mais elevados nestes meses o que resulta numa diferença de temperatura menor, diminuindo assim a energia necessária para elevar a quantidade de água para AQS (Equação (3.12)). Contudo o sistema de apoio tem uma contribuição bastante elevada, cerca de 62%, devido à falta de espaço para instalação de mais coletores solares, o que iria aumentar significativamente o fator solar e, consequentemente, reduzir a utilização do sistema de apoio.

Relativamente aos benefícios ambientais observa-se pela Figura 4.21 que com a instalação do sistema solar térmico foram evitados 10,2 MWh/ano de energia primária de origem fóssil, neste caso gás natural, o que se traduz numa menor emissão de gases com efeito de estufa de 2,06 toneladas de CO₂ equivalente por ano evitadas.

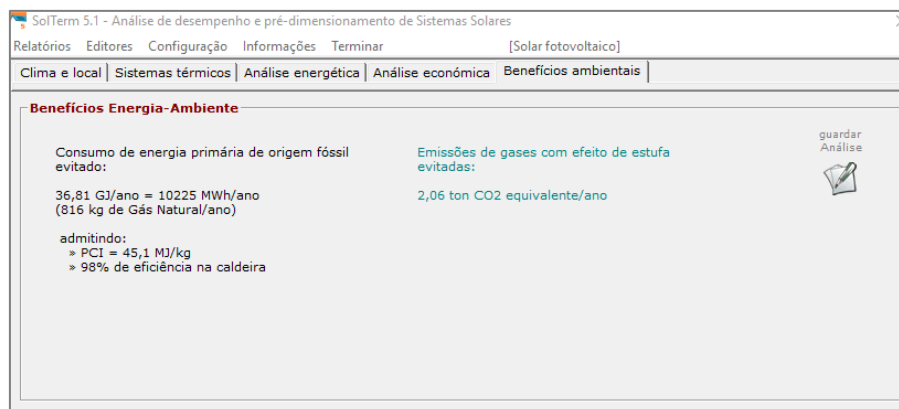


Figura 4.21 – Benefícios ambientais.

4.3 Análise de Resultados

Com base nos resultados obtidos na análise de desempenho do sistema solar térmico e nos dados fornecidos pelas faturas energéticas foi possível realizar uma análise de todo o sistema instalado e perceber quais os consumos anuais necessários para AQS e climatização do edifício em estudo.

Através da análise das faturas de gásóleo respeitantes ao sistema anterior e das faturas de gás natural referentes ao novo sistema instalado, foi possível verificar que os meses pertencentes ao período de aquecimento serão de Outubro a Abril inclusive e que os restantes, Maio a Setembro, fazem parte do período de arrefecimento. Assume-se assim, que para o período de aquecimento, o sistema de apoio constituído pela caldeira de condensação a gás natural terá que dar resposta às necessidades de AQS que o sistema solar térmico não consegue colmatar e ainda à climatização de todo o edifício.

Na Tabela 4.4 encontram-se representados os valores referentes às faturas de gásóleo de aquecimento, combustível que alimentava a caldeira antiga.

Tabela 4.4 – Valores referentes às faturas de gásóleo de aquecimento

Data	Quant. (L)	Preço unit. (€/L)	Total (€)
17/12/2013	1038	1,31	1359,78
15/01/2014	600	1,31	786,00
31/01/2014	599	1,31	784,69
19/02/2014	600	1,31	786,00
12/03/2014	1000	1,30	1300,00
11/04/2014	1011	1,27	1283,97
28/05/2014	500	1,30	650,00
01/07/2014	400	1,31	524,00
25/07/2014	500	1,29	645,00
27/08/2014	600	1,30	780,00

Foi necessário reorganizar a Tabela anterior de forma a obter um ano típico de consumos ou parte desse ano, com consumos bem definidos mês a mês, de onde resulta a Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Tratamento dos dados resultantes das faturas de gasóleo de aquecimento.

Data de início	Data de fim	n.º dias	Quant. (L/fatura)	Quant. (L/dia)	Datas mês a mês	Mês	Quant. (L/mês)
17/12/2013	15/01/2014	29	1038	35,793	17/12/2013 a 31/12/2013	Dez ⁽¹⁾	501,10
15/01/2014	31/01/2014	16	600	37,50	31/12/2013 a 31/01/2014	Jan	1136,90
31/01/2014	19/02/2014	19	599	31,53	31/01/2014 a 28/02/2014	Fev	856,14
19/02/2014	12/03/2014	21	600	28,57	28/02/2014 a 31/03/2014	Mar	976,19
12/03/2014	11/04/2014	30	1000	33,33	31/03/2014 a 30/04/2014	Abr	775,37
11/04/2014	28/05/2014	47	1011	21,51	30/04/2014 a 31/05/2014	Mai	646,42
28/05/2014	01/07/2014	34	500	14,71	31/05/2014 a 30/06/2014	Jun	441,18
01/07/2014	25/07/2014	24	400	16,67	30/06/2014 a 31/07/2014	Jul	505,61
25/07/2014	27/08/2014	33	500	15,15	31/07/2014 a 31/08/2014	Ago ⁽²⁾	469,70

(1) O mês de dezembro apenas está contabilizado com 14 dias.

(2) Apesar da fatura relativa ao mês de agosto apenas permitir contabilizar até ao dia 27, foi extrapolado que os restantes 4 dias se comportavam dentro dos mesmos valores.

A Equação (4.3) demonstra como foi realizada esta transformação dos dados fornecidos pelas faturas para dados mês a mês, de forma a obter um ano típico.

De uma forma geral, o valor do mês foi calculado considerando a soma do produto do valor médio obtido em cada uma das faturas pelo número de dias desse mês que integram a fatura.

$$Q_{M_i} = d_{f_i} \cdot q_{f_i} + d_{f_{i+1}} \cdot q_{f_{i+1}} \quad (4.3)$$

Onde,

Q_{M_i} : Quantidade do mês atual [L];

d_{f_i} : número de dias da fatura atual que pertencem ao mês atual;

q_{f_i} : quantidade da fatura atual [L];

$d_{f_{i+1}}$: número de dias da fatura seguinte que pertencem ao mês atual;

$q_{f_{i+1}}$: quantidade da factura seguinte [L];

Na Figura 4.22 encontra-se representado o consumo de gasóleo de aquecimento pela caldeira do sistema antigo. Apenas foi possível avaliar o primeiro semestre do ano, contudo é bastante visível que, nos meses de Janeiro a Março, o consumo de gasóleo foi superior em cerca do dobro quando comparado com os meses de Junho a Agosto.

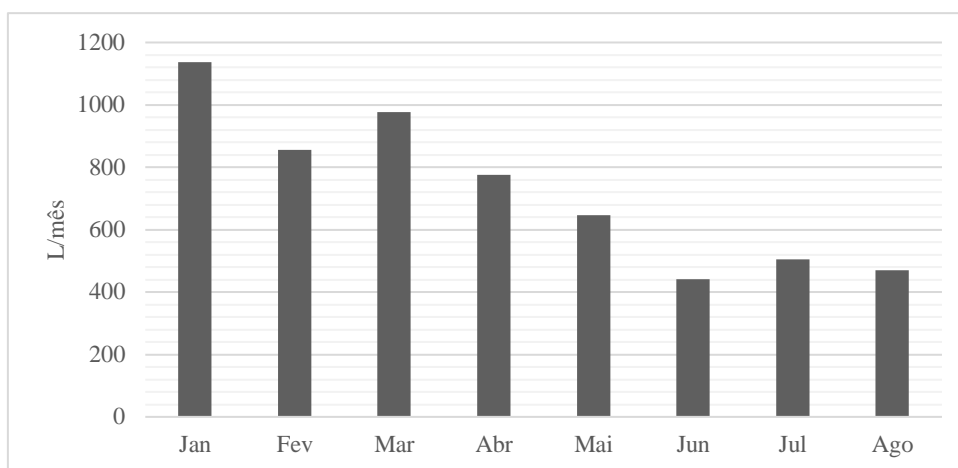


Figura 4.22 – Consumo de gasóleo de aquecimento pela caldeira antiga.

Realizando as médias dos consumos dos meses de Inverno (Janeiro, Fevereiro, Março, Abril e Maio) e as médias dos meses de Verão (Junho, Julho e Agosto) é possível verificar qual o peso da climatização e de AQS nas faturas de gasóleo.

Surge assim a Tabela 4.6 com os resultados obtidos.

Tabela 4.6 – Desagregação de consumos da fatura de gasóleo

	kWh/dia ⁽¹⁾	%
AQS	164,66	52,91
Climatização	146,57	47,09

⁽¹⁾Foi utilizado o fator de conversão de 10,70 kWh/L com base no PCI e massa volúmica do combustível presentes no Despacho n.º17313/2008 e DL 89/2008, respetivamente.

A Tabela 4.7 diz respeito às faturas de gás natural, combustível que para além de alimentar a nova caldeira instalada (AQS e climatização) também é utilizado na cozinha.

Tabela 4.7 – Valores referentes às faturas de gás natural.

Data inicial	Data final	n.º dias	Quant. (kWh/fatura)	Quant. (kWh/dia)
05/06/2014	30/06/2014	26	1153	44,35
01/07/2014	05/08/2014	36	1596	44,33
06/08/2014	06/10/2014	62	2725	43,95
07/10/2014	04/02/2015	121	52580	434,55
05/02/2015	10/04/2015	65	28627	440,42
11/04/2015	30/04/2015	20	2475	123,75
01/05/2015	04/06/2015	35	4332	123,77
05/06/2015	30/06/2015	26	2286	87,92
01/07/2015	05/08/2015	36	3166	87,94
06/08/2015	01/10/2015	57	6849	120,16

Da mesma forma que para o gasóleo de aquecimento, foi necessário proceder ao tratamento destes dados de forma a obter um consumo mês a mês para o gás natural, apresentando-se o resultado na Tabela 4.8. A Equação utilizada foi a mesma (Equação (4.3)).

Tabela 4.8 – Tratamento dos dados resultantes das faturas de gás natural.

Período	Ano	Mês	nº dias	Quant. (kWh/mês)	Quant. (kWh/dia)
Anterior à instalação	2014	Junho	30	1330,38	44,35
	2014	Julho	31	1374,33	44,33
	2014	Agosto	31	1364,41	44,01
	2014	Setembro	30	1318,55	43,95
Posterior à instalação	2014	Outubro	31	11127,35	358,95
	2014	Novembro	30	13036,36	434,55
	2014	Dezembro	31	13470,91	434,55
	2015	Janeiro	31	13470,91	434,55
	2015	Fevereiro	28	12308,15	439,58
	2015	Março	31	13652,88	440,42
	2015	Abril	30	6879,15	229,31
	2015	Maio	31	3836,91	123,77
	2015	Junho	30	2781,09	92,70
	2015	Julho	31	2726,28	87,94
	2015	Agosto	31	3563,83	114,96
	2015	Setembro	30	3604,74	120,16

Na Figura 4.23 encontra-se ilustrado o consumo de gás natural de Junho de 2014 a Setembro de 2015. A instalação da caldeira de condensação a gás natural realizou-se em Outubro pelo que de Junho a Setembro inclusive, o consumo de gás natural no edifício em estudo era apenas realizado pela cozinha. Em Outubro, com a instalação da caldeira de condensação, o consumo de gás natural aumentou significativamente pois passou a ter de dar resposta a AQS e cozinha durante todo o ano e ainda à climatização do espaço interior nos meses de Inverno. Seria de esperar que Outubro não apresentasse um consumo tão elevado, contudo como correspondeu ao mês da instalação, e como foi necessário realizar-se diversos testes à caldeira, o consumo pode ter sido influenciado. É também de notar que o mês de Outubro está incluído na fatura que engloba os meses de Inverno, pelo que é natural que apresente um consumo superior ao esperado. Contudo, é bastante notório que os meses correspondentes ao período de verão são de Abril a Outubro inclusive (o mês de Outubro não é tão notório pelas razões mencionadas anteriormente).

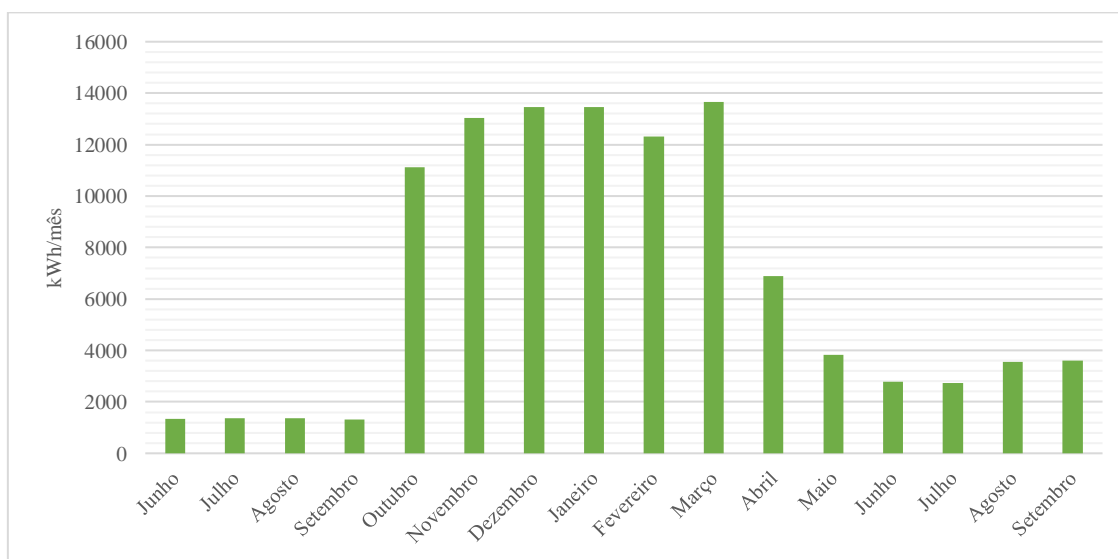


Figura 4.23 – Consumo de gás natural de Junho de 2014 a Setembro de 2015.

Com o objetivo de perceber qual a percentagem que cada tipo de consumo apresenta foi elaborado um esquema, que se encontra na Figura 4.24 e que foi bastante útil para chegar aos resultados pretendidos.

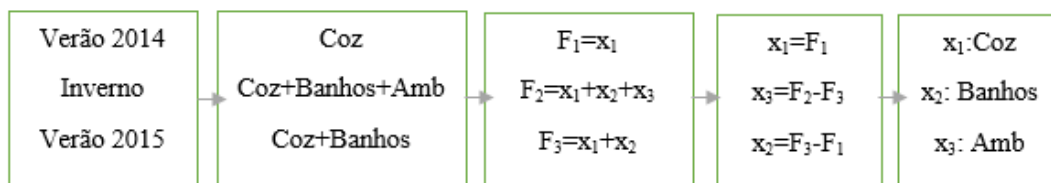


Figura 4.24 – Esquema ilustrativo dos diferentes tipos de consumo de gás natural.

Tendo por base este esquema e assumindo os meses de Inverno e Verão já referenciados anteriormente, foram realizadas médias aos consumos diários relativos aos meses de Verão 2014, Inverno e Verão 2015 resultando a Tabela 4.9 que apresenta a desagregação dos consumos.

Tabela 4.9 – Desagregação de consumos da fatura de gás natural.

	kWh/dia	%
Cozinha	44,16	10,42
AQS	107,91	25,46
Climatização	271,69	64,11

A Figura 4.25 representa igualmente a desagregação de consumos, mas de forma gráfica, onde é possível verificar que o grande peso na fatura de gás natural é provocado pela climatização do edifício, apresentando 64% do consumo de gás natural.

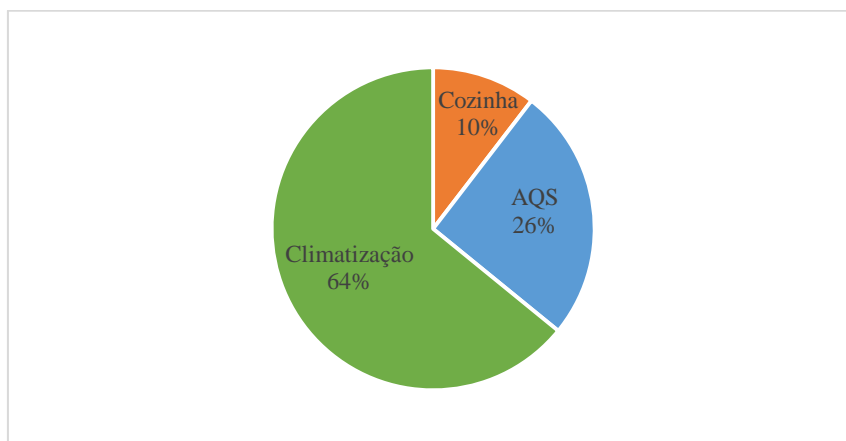


Figura 4.25 – Desagregação de consumos de gás natural na fatura energética

Se se retirar o consumo de gás natural por parte da cozinha e com o objetivo de comparar os resultados obtidos para o gásóleo de aquecimento, obtém-se, num universo total AQS e Climatização, 28,43% do consumo para AQS e 71,57% para climatização.

O objetivo seguinte consistiu em relacionar os dados obtidos nas faturas energéticas com os valores adquiridos na simulação do Solterm. Pretendeu-se também comparar o antes e o depois da instalação

pelo que se assumiu que os consumos das faturas de gasóleo comportam-se como os dados de carga do Solterm e os consumos das faturas de gás natural seguem o apoio do Solterm.

Foi necessário calcular o erro relativo ao mínimo da “Carga de AQS” e do “Apoio” obtidos no Solterm. Estes valores encontram-se na Tabela 4.10 e foram calculados através da Equação (4.4).

$$E_{Ri} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{min}} \quad (4.4)$$

Onde,

E_{Ri} : Erro relativo do mês i;

x_i : valor do mês i [L];

x_{min} : valor mínimo [L];

Tabela 4.10 – Dados obtidos no Solterm e valores dos erros relativos ao mínimo

Mês	Carga AQS (kWh/dia)	E_{R1}	Apoio (kWh/dia)	E_{R2}
Janeiro	87,161	0,146	66,516	0,672
Fevereiro	86,393	0,136	61,607	0,549
Março	84,968	0,117	60,355	0,517
Abril	83,300	0,095	55,167	0,387
Maio	80,742	0,061	50,774	0,277
Junho	78,200	0,028	49,567	0,246
Julho	76,290	0,003	43,645	0,097
Agosto	76,065	0	39,774	0
Setembro	77,167	0,014	45,333	0,140
Outubro	80,452	0,058	52,581	0,322
Novembro	84,533	0,111	61,800	0,554
Dezembro	86,903	0,142	65,871	0,656

Como se pode observar pela Tabela 12, o valor mínimo corresponde ao mês de Agosto, tanto para Apoio como para Carga AQS.

Tendo-se obtido um valor de consumo diário por parte da cozinha (Tabela 4.9), é possível desagregar os consumos e ficar apenas com a parte do consumo referente ao AQS e à climatização.

A abordagem para relacionar os dados Solterm e os dados das faturas englobou três fórmulas distintas. A Equação (4.5) refere-se ao cálculo do consumo de gás natural para o mês de Agosto, mês este que serve de referência para os restantes meses excetuando o mês de Junho, porque para este mês assumiu-se o valor da fatura devido ao facto de este ser inferior ao obtido através da Equação (4.6). A Equação (4.6) foi utilizada para obter o consumo de gás natural nos restantes meses.

$$Q_{Ago} = \frac{Q_{fAgo}}{(1 + E_{RJul})} \quad (4.5)$$

Onde,

Q_{Ago} : Consumo do mês de Agosto [kWh/dia];

Q_{fAgo} : Consumo do mês de Agosto obtido pela factura [kWh/dia];

$E_{R_{Jul}}$: Erro relativo do mês de Julho;

$$Q_i = Q_{ref} \times (1 + E_{R_i}) \quad (4.6)$$

Onde,

Q_{ref} : Consumo do mês de referência (Agosto) [kWh/dia];

E_{R_i} : Erro relativo do mês i;

Aplicando as equações anteriores e assumindo que para o mês de Junho o consumo de AQS é igual ao da fatura e que para os consumos de gás natural se utiliza E_{R2} obtém-se a Tabela 4.11. O consumo de gás natural por parte da climatização foi obtido pela diferença entre o valor calculado através da fatura e o valor calculado para o Apoio AQS através das equações anteriores.

Tabela 4.11 – Desagregação de consumos no Gás Natural.

Mês	Apoio AQS (kWh/dia)	Climatiz. (kWh/dia)	Cozinha (kWh/dia)	Total (kWh/dia)
Janeiro	66,727	323,658	44,161	434,545
Fevereiro	61,802	333,614		439,577
Março	60,546	335,708		440,415
Abril	55,341	129,803		229,305
Maio	50,935	0		95,096
Junho	48,542	0		92,703
Julho	43,783	0		87,944
Agosto	39,900	0		84,061
Setemro	45,477	0		89,638
Outubro	52,747	262,038		358,947
Novembro	61,996	328,389		434,545
Dezembro	66,080	324,305		434,545

De notar que se manteve assumido que nos meses de Verão (Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro) não existe consumo de gás natural para climatização do edifício.

Procedeu-se de forma idêntica para obter a desagregação de consumos no caso do Gasóleo, contudo neste caso foi necessário estimar qual seria o consumo das faturas nos meses de Setembro, Outubro e Novembro. Para isso recorreu-se aos valores obtidos relativamente aos meses de Verão e de Inverno e conseguiu-se chegar a uma percentagem média de 48% de utilização da caldeira a gasóleo para climatização, sendo através deste valor que se estimou os valores em falta.

Assim utilizou-se a Equação (4.5) para calcular o consumo de AQS para o mês de Agosto e a Equação (4.6) para os restantes meses. O consumo de gasóleo por parte da climatização foi calculado através da diferença entre o valor calculado através da fatura e o valor de AQS obtido das equações anteriores, excepto para os meses em que foi necessário estimar o valor, como já foi referido no parágrafo anterior.

Tabela 4.12 – Desagregação de consumos no Gasóleo.

Mês	Apoio AQS (kWh/dia)	Climatiz. (kWh/dia)	Total (kWh/dia)
Janeiro	185,223	207,190	392,413
Fevereiro	183,590	143,579	327,169
Março	180,561	156,382	336,943
Abril	177,017	99,531	276,548
Maio	171,581	0	171,581
Junho	166,179	0	166,179
Julho	162,121	0	162,121
Agosto	161,641	0	161,641
Setemro	163,983	0	163,983
Outubro	170,964	156,716	327,680
Novembro	179,638	164,667	344,305
Dezembro	184,674	169,283	353,958

Nas Figuras 4.26, 4.27 e 4.28 encontra-se representada a comparação dos consumos de AQS e climatização para o gás natural e para o gasóleo.

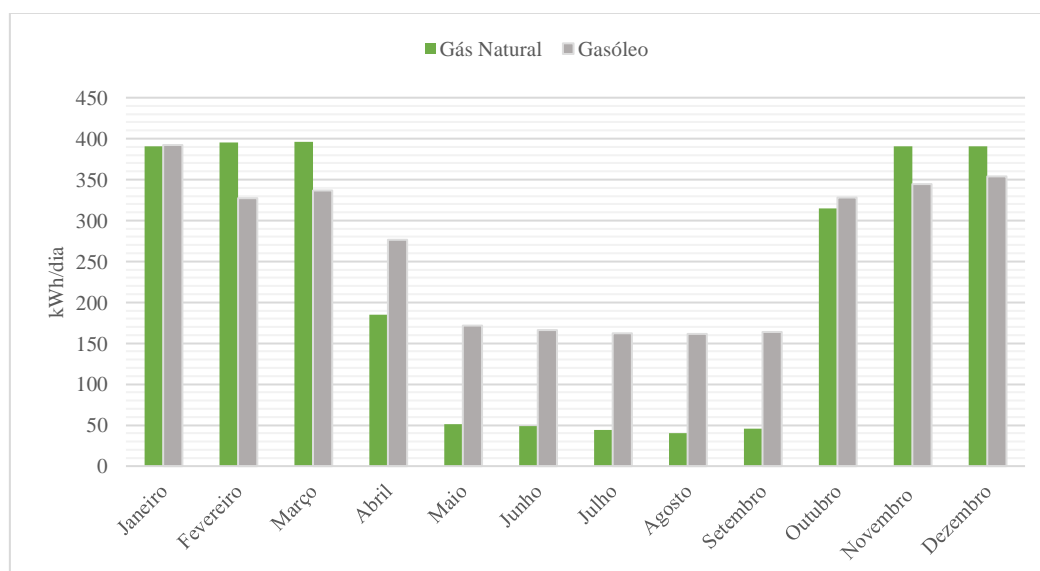


Figura 4.26 – Comparação de consumos (para AQS e climatização) entre gasóleo e gás natural.

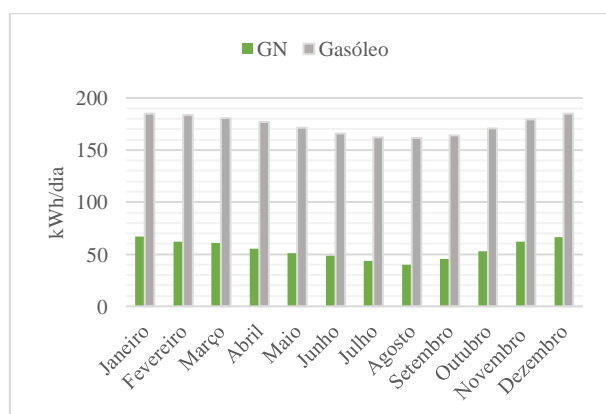


Figura 4.27 – Comparação de consumos (para AQS) entre gasóleo e gás natural.

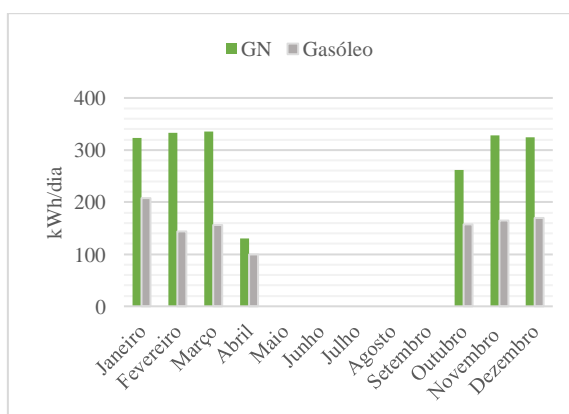


Figura 4.28 – Comparação de consumos (para climatização) entre gasóleo e gás natural.

Como se pode observar pela Figura 4.26, praticamente em todos os meses correspondentes ao período de aquecimento existe um consumo superior de gás natural por parte da nova caldeira do que existia por parte da caldeira a gásóleo, sendo que o único mês em que isto não se verifica é o mês de Abril, no entanto a diferença de consumos não se apresenta muito significativa. Já para os meses pertencentes ao período de arrefecimento a diferença de consumos é bastante significativa e o novo sistema instalado apresenta consumos muito inferiores ao sistema antigo.

Analisando as Figuras 4.27 e 4.28, conclui-se que no que diz respeito à climatização a caldeira a gásóleo apresenta sempre consumos muito inferiores quando comparada com a caldeira a gás natural. Este aumento no consumo de gás natural relativamente ao gásóleo, pode ter sido provocado por um erro de instalação ao ter sido trocada a admissão e retorno de água que abastece os radiadores. Este problema foi posteriormente corrigido, contudo fez com que não se conseguisse regular a temperatura nos radiadores, o que implicou que estes estivessem sempre ligados na temperatura máxima aumentando assim o consumo de gás natural por parte da caldeira que fornecia energia térmica aos radiadores.

No entanto, para o aquecimento de AQS verifica-se o contrário, a caldeira a gásóleo apresenta consumos muito superiores à caldeira a gás natural. De notar ainda na Figura 4.27, que nos meses de Verão os consumos de gás natural são ligeiramente inferiores aos consumos nos meses de Inverno, o que pode estar relacionado com o fato da contribuição do sistema solar térmico ser superior nestes meses.

4.4 Análise Financeira

Realizada uma análise ao nível dos consumos, torna-se relevante avaliar o projeto quanto à sua viabilidade financeira. É necessário mostrar ao cliente que para além da energia obtida pelo novo sistema a instalar apresentar benefícios ambientais, também revela custos inferiores ao sistema que se encontrava em funcionamento.

As análises financeiras podem ser realizadas de duas formas distintas: com preços constantes onde não se contabiliza os efeitos da inflação, ou com preços correntes, onde os efeitos daquela são contabilizados [32]. Dado que a inflação afeta as receitas e as despesas do mesmo modo, pode-se realizar a análise a preços constantes, sendo esta a análise utilizada neste capítulo.

O primeiro conceito a ser introduzido é a taxa de atualização. Esta taxa permite converter montantes financeiros para diferentes períodos no tempo, pois um valor monetário hoje não vale o mesmo daqui a N anos. É um valor difícil de avaliar visto depender de investidor para investidor e do estado atual da economia. Para este estudo foi utilizada uma taxa de atualização de 5%, que foi ponderada e baseada em projetos realizados nos últimos meses por entidades especializadas na área.

Desta forma é possível obter qual o valor acumulado ao fim de t anos, que se traduz na Equação (4.7)

$$F_t = F_0 \times (1 + a)^t \quad (4.7)$$

Onde,

F_t : valor acumulado ao fim de t anos;

F_0 : valor do pagamento feito no momento atual t=0;

a: taxa de atualização;

t : tempo;

Nesta análise foram considerados dois cenários distintos, o primeiro apenas considera a substituição da caldeira existente a gásóleo pela caldeira de condensação a gás natural; o segundo cenário introduz ainda na substituição o sistema solar térmico.

Tendo em conta que o tempo de vida útil dos sistemas solares térmicos é da ordem dos 20 anos [33], este foi o período considerado para a análise financeira.

Dado que o investimento foi todo efetuado com o arranque da instalação, não existem encargos de investimento que necessitem de ser atualizados.

Contudo, se existissem, duas situações podiam surgir: na primeira o investimento distribuir-se-ia por N anos de construção anteriores a $t=0$ (em $t=0$ não existe investimento) (Equação (4.7)); na segunda o investimento escalar-se-ia pelos N anos do período de análise posteriores a $t=0$ (em $t=0$ não existe investimento) (Equação (4.8)).

$$c_{a1} = I_{ta} = \sum_{j=1}^N I_j (1 + a)^j \quad (4.7)$$

Onde,

c_{a1} : encargos de investimento;

I_{ta} : Investimento total atualizado [€];

I_j : Investimento no ano j [€];

a : taxa de atualização;

N : anos;

$$c_{a1} = I_{ta} = \sum_{j=1}^{n-1} \frac{I_j}{(1 + a)^j} \quad (4.8)$$

Já os encargos de O&M atualizados são obtidos para cada ano através da Equação (4.9).

$$c_{a2} = I_t \sum_{j=1}^n \frac{d_{omj}}{(1 + a)^j} \quad (4.9)$$

Onde,

c_{a2} : encargos de operação e manutenção;

d_{omj} : despesas de manutenção referidas ao investimento no ano j [€];

I_t : investimento total [€];

a : taxa de atualização;

Os custos anuais têm por base as necessidades energéticas e as tarifas do combustível. São obtidos através da Equação (4.10).

$$c_{anuais} = Q_{anual} \cdot t_c \quad (4.10)$$

Através da diferença entre os custos anuais das soluções a comparar é possível obter os denominados proveitos.

A metodologia utilizada foi a seguinte:

- 1) Encargos de investimento pertencem ao ano 0;
- 2) Encargos de operação e manutenção para a caldeira a gásóleo e para a nova caldeira a gás natural desde o ano 1 até ao ano 20;
- 3) Semelhante ao ponto anterior, mas para as necessidades energéticas e tendo em conta os respetivos rendimentos de cada uma das caldeiras;
- 4) Cálculo dos custos anuais desde o ano 1 até ao ano 20 para os dois combustíveis;
- 5) Cálculo dos proveitos que resultam da diferença entre os custos dos dois combustíveis;
- 6) Cálculo do *cash-flow*, que corresponde à subtração entre os proveitos e os encargos da nova instalação (c_{a1} e c_{a2});
- 7) Cálculo do *cash-flow* acumulado, onde se acumulam os valores desde o ano 0 até ao ano 20;
- 8) Cálculo do *cash-flow* acumulado atualizado, onde se aplica a Equação (4.7) mas neste caso quer-se calcular F_0 , pois o objetivo é ter os valores atualizados ao ano 0.

Com o objetivo final de caracterizar economicamente este projeto recorreu-se a dois indicadores de avaliação de investimentos: o Valor Atual Líquido (VAL) e a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR).

O VAL, que também pode ser designado como Balanço Atualizado, é determinado pela diferença entre as entradas e as saídas de dinheiro, ou seja, pelos *cash-flow*.

Para este projeto o VAL foi calculado através da função **VAL(taxa;valor1;[valor2];...)** do Excel onde foi utilizada a matriz do *cash-flow*.

A TIR é designada pela taxa de atualização que anula o VAL, o que significa que a obtenção de uma TIR superior à taxa de atualização considerada no VAL demonstra que o projeto é viável e um bom investimento a nível financeiro.

Para o cálculo da TIR foi utilizada a função **TIR(valores; [estimativa])** do Excel, utilizando a matriz do *cash-flow*.

Por último foi calculado o Período de Retorno de Investimento (PRI) do projeto, ou seja, o período de tempo que decorre até que o investimento seja recuperado e a partir do qual começará a gerar retorno.

Para o cálculo do PRI foi utilizada a função **PROC(valor_proc; vetor_proc; [vetor_result])** do Excel, onde o valor procurado é o 0, pois corresponde a ter-se recuperado o valor que estava negativo do investimento realizado, o vetor onde se procura é o *cash-flow* acumulado e o vetor resultado é a Equação (4.11).

$$Vetor_result = ano_i - \frac{CFA_i}{CF_i} \quad (4.10)$$

Onde,

CFA_i : *cash-flow* acumulado atualizado no ano i ;

CF_i : *cash-flow* acumulado no ano i ;

No entanto esta expressão apresenta uma desvantagem que lhe confere pouca precisão: não entra em conta com a desvalorização monetária. Assim, para que o cálculo seja correto, são utilizados os valores atualizados do *cash-flow* e do investimento, para tal utiliza-se o PRIA (Período de Recuperação do Investimento Atualizado).

4.4.1 Cenário 1: Substituição da caldeira a gásóleo pela caldeira a gás natural

Neste primeiro cenário considerou-se apenas a substituição das caldeiras. Foi assim necessário calcular as necessidades energéticas anuais. Para tal recorreu-se à carga obtida pelo Solterm que corresponde às necessidades de AQS. Com o objetivo de calcular as necessidades de climatização, foram utilizadas as contribuições percentuais presentes nas Tabelas 4.6 e 4.9 respetivamente para o gásóleo e para o gás natural. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Necessidades energéticas para o Cenário 1

	Q_{anual} AQS (kWh)	Q_{anual} Climat. (kWh)	Q_{anual} total (kWh)
Gás Natural	29865	75195	105060
Gasóleo	29865	26584	56449

Posteriormente, foi tido em conta os rendimentos de cada uma das caldeiras, tendo sido assim considerada a energia primária necessária.

É ainda importante notar que toda esta análise apenas é possível porque os dois sistemas dão resposta às mesmas necessidades, doutra maneira não seria possível compará-los.

Na Tabela 4.14 estão reunidas as constantes necessárias ao cálculo da análise financeira do projeto para o cenário 1.

Tabela 4.14 – Constantes necessárias à análise financeira do projeto (cenário 1)

$\eta_{\text{caldeira gás óleo}}$ (antiga)	75	%
$\eta_{\text{caldeira gás natural}}$ (nova)	98,2	%
Taxa de atualização	3	%
Investimento caldeira a gás natural	9917,49	€
Custos de O&M anuais ⁽¹⁾ gás natural	275,00	€
Custos de O&M anuais ⁽¹⁾ gasóleo ⁽²⁾	194,92	€
Tarifa média gasóleo de aquecimento	0,129	€/kWh
Tarifa média gás natural	0,076	€/kWh

⁽¹⁾O&M representam os custos de Operação e Manutenção que o sistema necessita.

⁽²⁾Foi considerado um custo de O&M para o gasóleo de 3% do investimento de uma caldeira (6497,17€)

Como meio de comparação, foram realizadas ainda dentro deste cenário mais duas análises financeiras onde se pretendeu observar a influência da variação no preço do gás natural. Assim encontra-se representada na Figura 4.29 a comparação entre os *cash-flow* acumulados das três análises efetuadas. De salientar que a variação na tarifa do gás natural foi de 10%.

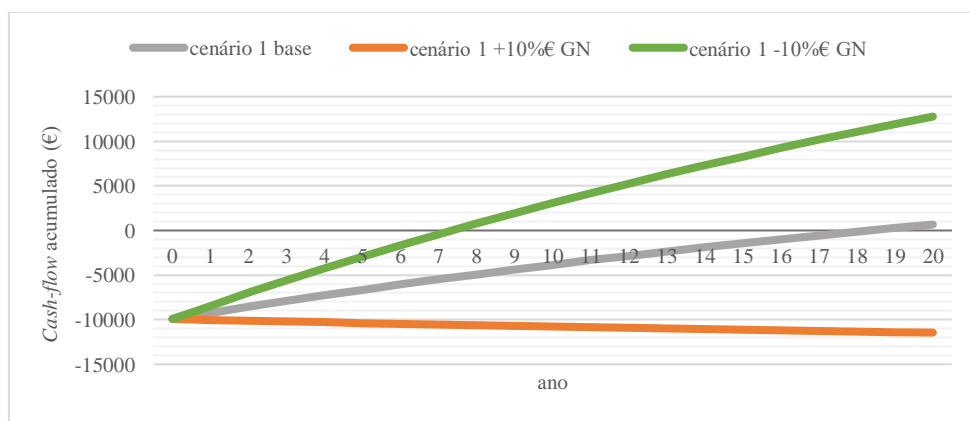


Figura 4.29 – Comparação de cash-flow acumulados com variação do preço do gás natural

De seguida apresenta-se na Tabela 4.15 os indicadores financeiros para estas três análises.

Tabela 4.15 – Indicadores Financeiros (cenário 1)

	Base	+10% preço GN	-10% preço GN
VAL	644 €	-11974 €	20586 €
TIR	3,71%	-	14,32%
PRI	13,95	Sem retorno no período previsto	6,50
PRIA	18,33	Sem retorno no período previsto	7,33

Como se pode observar pela Figura 4.29 e constatar pela Tabela 4.15, a variação na tarifa do gás natural tem bastante influência na análise financeira deste cenário. Como seria de prever, com a diminuição da tarifa do gás natural, este projeto e esta substituição tornam-se mais atrativos e diminui o período de retorno do investimento para cerca de metade. Com o aumento da tarifa do gás natural em 10%, os proveitos do novo sistema são inferiores aos encargos de O&M pelo que o projeto não se torna viável, apresentando assim um VAL negativo.

No entanto obteve-se para o cenário base um VAL positivo, o que demonstra que o projeto é viável economicamente. Não só é possível cobrir o investimento inicial e a remuneração dada pela taxa de atualização, como é gerado um excedente financeiro.

Os valores obtidos para a TIR apresentam um valor superior à taxa de atualização considerada, o que indica que o projeto consegue apresentar uma taxa de rentabilidade superior ao custo de oportunidade do capital, tornando o projeto financeiramente viável, exceto para o cenário de 10% de aumento na tarifa do gás natural.

No Anexo 7.6 é possível consultar as tabelas com os valores obtidos nas análises financeiras realizadas para este cenário.

4.4.2 Cenário 2: Substituição da caldeira a gasóleo pela caldeira a gás natural e sistema solar térmico

Neste segundo cenário substituiu-se a caldeira existente a gasóleo por um sistema solar térmico apoiado pela caldeira de condensação a gás natural. A principal diferença para o cenário 1 reside nas necessidades anuais que vão ser inferiores no caso do novo sistema, visto o sistema solar térmico fornecer alguma energia que não vai ser necessário ser fornecida pela caldeira.

As necessidades anuais de energia para o sistema com a caldeira a gasóleo são as mesmas do cenário 1, enquanto que as necessidades anuais de AQS para o novo sistema (sistema solar térmico e caldeira a gás natural) foram obtidas através da simulação do Solterm mas neste caso são dadas pelo Apoio, que resulta da diferença entre a Carga e a energia fornecida pelos coletores. Para calcular as necessidades de climatização procedeu-se de forma idêntica ao cenário 1, isto é, através das contribuições percentuais presentes nas Tabelas 4.6 e 4.9.

Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Necessidades energéticas para o Cenário 2

	Q_{anual} AQS (kWh)	Q_{anual} Climat. (kWh)	Q_{anual} total (kWh)
Gás Natural	19846	75195	95041
Gasóleo	29865	26584	56449

Neste cenário é necessário proceder à atualização do custo da instalação que vai ser superior ao do cenário 1 e que se apresenta em 15854,70€.

Assim como para o cenário 1, neste cenário também foram realizadas mais duas análises financeiras onde se pretendeu perceber a influência da variação do número de ocupantes/fator solar neste projeto. Neste caso o número de ocupantes e o fator solar estão relacionados e são inversamente proporcionais, ao diminuir o número de ocupantes o fator solar aumenta e vice-versa. Foi realizada uma análise

financeira para 20 ocupantes e outra para 60 ocupantes. O cenário base é de 40 ocupantes. Procedeu-se apenas a uma correção no custo da instalação para a situação dos 20 ocupantes, tendo-se retirado o valor correspondente a um depósito de acumulação, ficando assim o valor total da instalação em 12798,15 €.

Na Figura 4.30 encontram-se representados os *cash-flow* acumulados para as três situações acima descritas.

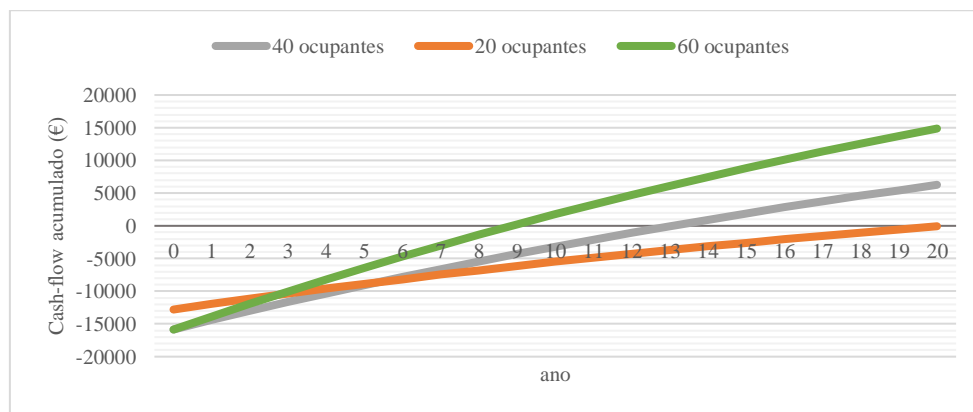


Figura 4.30 – Comparação de cash-flow acumulados com variação do número de ocupantes

De seguida apresenta-se na Tabela 4.17 os indicadores financeiros para estas três análises.

Tabela 4.17 – Indicadores Financeiros (cenário 2)

	Base (40 ocupantes)	20 ocupantes	60 ocupantes
VAL	6092 €	-64,43 €	14437 €
TIR	6,92%	2,94%	11,57%
PRI	10,66	14,96	7,68
PRIA	13,04	20,14	8,83

Como é possível observar pela Figura 4.30 e pela Tabela 4.17, a variação no número de ocupantes influencia bastante o *cash-flow* e o tempo de retorno do investimento neste projeto, influenciando de uma maneira geral toda a análise financeira. Seria expectável que com o aumento do fator solar, o projeto tomara valores mais atrativos contudo isso não se verifica. Ao analisar a Tabela 7.5 presente no Anexo 7, verifica-se que para a situação dos 20 ocupantes, os proveitos do projeto são consideravelmente menores do que os proveitos para o caso dos 60 ocupantes, e essa é a razão que explica o fato de se ter obtido um PRIA da ordem dos 20 anos para os 20 ocupantes e um PRIA da ordem dos 9 anos para os 60 ocupantes. A razão pela qual os proveitos são menores prende-se pelas necessidades energéticas que também são bastante menores para 20 ocupantes quando comparadas às dos 60 ocupantes, o que gera necessariamente custos menores e assim proveitos menores.

Para o cenário base obteve-se um VAL positivo e uma TIR superior à taxa de atualização considerada, ou seja, o projeto é financeiramente viável, verificando-se ainda que o cenário de 60 ocupantes foi o que apresentou melhores indicadores financeiros. O cenário dos 20 ocupantes não se apresenta como viável, tendo-se obtido assim um VAL negativo e uma TIR inferior à taxa de atualização considerada, assim como o período de retorno de investimento do sistema acaba por ser no fim de vida dos equipamentos em questão. Financeiramente será sempre mais proveitoso ter a ocupação lotada.

No Anexo 7.7 é possível consultar as tabelas com os valores obtidos nas análises financeiras realizadas para este cenário.

4.4.3 Comparação entre o cenário 1 e o cenário 2

Neste capítulo pretendeu-se perceber qual das duas soluções apresenta os melhores resultados a nível financeiro. Assim apresentam-se na Figura 4.31 os *cash-flow* acumulados relativos aos dois cenários base.

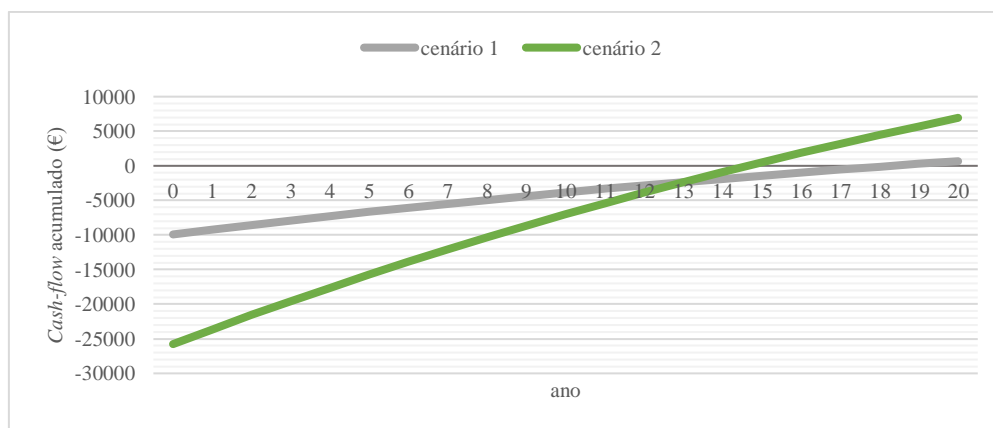


Figura 4.31 – Comparação de *cash-flow* acumulados entre o cenário 1 e 2

De seguida é apresentado na Tabela 4.18 os indicadores financeiros para os dois cenários base.

Tabela 4.18 – Indicadores Financeiros (cenário 1 e 2)

	Cenário 1 (base)	Cenário 2 (base)
VAL	644 €	6092 €
TIR	3,71%	6,92%
PRI	13,95	10,66
PRIA	18,33	13,04

Analisando a Figura 4.31 e a Tabela 4.18 é possível verificar que os dois cenários apresentam valores distintos a nível financeiro. O cenário 1, que diz respeito apenas à substituição da caldeira a gasóleo pela caldeira de condensação a gás natural, não contemplando os coletores solares, apresenta resultados menos atrativos financeiramente. O período de retorno de investimento é de cerca de 14 anos, enquanto que para o cenário 2 o período é de 11 anos, a TIR é cerca de 3% inferior à do cenário 2 e o VAL do cenário 1 é cerca de dez vezes inferior ao do cenário 2, que se prende pelo fato de que os proveitos no cenário 2 serem superiores aos do cenário 1.

5 Conclusões

Neste capítulo serão abordadas primeiramente as conclusões retiradas de todo o trabalho desenvolvido e de seguida é feita uma abordagem aos trabalhos que se poderiam realizar no futuro como continuidade deste trabalho ou como medida de melhoria.

A alteração realizada revelou alguns aspetos construtivos menos eficientes no sistema antigo como foi o caso da localização da caldeira a gásóleo e do depósito de acumulação. Apesar de não terem sido quantificadas, as perdas térmicas que se verificavam ao longo de todo o percurso do piso térreo até à zona da cobertura foram minimizadas com a nova alteração do sistema, uma vez colocada a caldeira de condensação junto ao depósito de acumulação.

As resistências elétricas instaladas nos depósitos associados ao sistema solar térmico foram apenas colocadas para redundância no caso de alguma falha no abastecimento de gás ou avaria no sistema. Contudo, se esta situação se verificar a potência das resistências instaladas apenas permitirá fornecer a energia necessária para AQS, como é possível verificar no Capítulo 4.3 (Tabela 4.9), não permitindo dar resposta às necessidades de climatização na estação de aquecimento, não só por não possuírem a potência necessária a esse consumo como também pelo facto de esse abastecimento de energia para climatização ser feito diretamente pela caldeira e não pelos depósitos de acumulação.

A fração solar conseguida através da instalação do sistema solar térmico foi relativamente baixa (33,6%), devido à limitação do espaço disponível para a instalação dos coletores solares (apenas 5) e ao elevado consumo de AQS de todo o edifício; no entanto, no período de Verão o sistema solar térmico irá suprir uma parcela relevante no consumo de AQS contribuindo para uma redução do tempo de funcionamento da caldeira de condensação a gás natural e por consequência do consumo de combustíveis fósseis.

O sistema instalado irá evitar na parte de AQS a emissão de 2,06 toneladas de CO₂ por ano. A caldeira de condensação a gás natural consegue atingir uma eficiência superior à caldeira convencional a gásóleo instalada anteriormente, pelo que a alteração efetuada contribui de forma positiva para o aumento da eficiência energética do sistema e para o aumento da incorporação de fontes de energia renováveis.

Ao analisar os resultados obtidos, verificou-se que a diferença entre consumos (gásóleo/gás natural), foi bastante superior nos meses da estação de arrefecimento, onde apenas se utiliza a caldeira de condensação a gás natural para AQS por não haver necessidades de aquecimento ambiente. Adicionalmente nestes meses o sistema solar térmico consegue fornecer mais energia para AQS, o que diminui o consumo da fonte de energia fóssil utilizada. O acréscimo na eficiência do equipamento resulta numa diminuição de energia primária utilizada, o que também vai favorecer a diminuição dos consumos. Era expectável que esta diferença de consumos fosse também notória no que diz respeito à climatização, contudo não se verificou uma alteração tão acentuada para os meses da estação de aquecimento, que como já foi referido na análise de resultados, pode ter resultado de um erro na instalação da admissão e retorno de água que abastece os radiadores.

Concluiu-se ainda que grande parcela de energia gasta no edifício concentra-se na climatização (64%), pelo que quanto mais eficientes forem os sistemas instalados menor será a fatura final. O consumo de energia para AQS (26%) também pode ser minimizado através deste tipo de intervenções: melhorar o sistema antigo pela substituição do equipamento antigo por outro mais eficiente e introduzir sistemas de energia renovável para colmatarem parte das necessidades energéticas.

Na análise financeira efetuada, conclui-se que para qualquer dos dois cenários criados (com ou sem sistema solar térmico incluído) o projeto é viável e atrativo do ponto de vista financeiro, pois o VAL é sempre positivo e a TIR superior à taxa de atualização. O período de retorno de investimento foi de cerca de 14 e 11 anos respetivamente para o cenário 1 e 2, onde o cenário 2 é o que inclui o sistema solar térmico, o que se apresenta como um período razoável e interessante tendo em conta que o tempo de vida dos equipamentos instalados (caldeira e coletores solares) é de aproximadamente vinte anos.

Relativamente à eficiência energética e incorporação de energias renováveis nota-se que as barreiras financeiras são ainda um entrave para atingir as metas estabelecidas, pelo que se torna necessário pensar nos benefícios e retorno a longo prazo para ultrapassar este obstáculo.

Durante o trabalho realizado em campo notou-se alguma preocupação com as questões ambientais e principalmente com a questão da poupança energética. No entanto, estas questões só se tornam relevantes quando é necessária uma alteração de equipamento, como foi o caso deste projeto, uma vez que parte do equipamento existente anteriormente se encontrava em fim de vida.

Normalmente, nos casos em que se instalam sistemas mais eficientes que provocam uma redução na fatura, tende-se a constatar uma despreocupação com o uso da energia, não se verificando assim as poupanças que deveriam ser atingidas de forma tão acentuada quanto o esperado. É de extrema importância sensibilizar as pessoas para a alteração de comportamentos.

Como trabalhos futuros propõe-se em futuras instalações e estudos do mesmo género a incorporação de equipamentos de monitorização, como por exemplo contadores entálpicos que permitam registar de forma precisa os consumos efetuados de forma a facilitar a análise dos resultados obtidos pelo sistema.

Seria útil também, como trabalho futuro, analisar melhor o edifício em termos de necessidades reais de climatização, tentando perceber quantas horas por dia os radiadores se encontram ligados e qual a potência de cada um e utilizar válvulas termostáticas que permitam ligar e desligar a circulação de água em função de um *set-point* previamente definido.

Desta forma ter-se-iam as necessidades para AQS e climatização reais sem recorrer a desagregação de faturas, ou seja, fazendo um levantamento mais completo de todo o edifício e de todos os consumos do mesmo.

6 Referências

- [1] DGEG, “Energia em Portugal em 2013,” Maio 2015.
- [2] “Inquérito ao Consumo de energia no sector doméstico,” INE, DGEG, 2010.
- [3] “Clima e suas influencias,” Atlas de Portugal.
- [4] “Quadro de acção relativo ao clima e à energia para 2030,” Europeu, Conselho, 2014.
- [5] ADENE, “Política Energética”.
- [6] “Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013,” Ministros, Presidência do Conselho de, 2013.
- [7] “Portal do Instituto Nacional de Estatística,” [Online]. Available: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0002108&contexto=bd&selTab=tab2. [Acedido em 30 08 2016].
- [8] J. Duffie e W. Beckman, Solar Engeneering of Thermal Processes, USA: Wiley, 1991.
- [9] C. Chen, Physics of Solar Energy, New Jersey: Wiley, 2011.
- [10] IEA, “Key World Energy Statistics 2012,” 2014.
- [11] “Environmental, Fondriest,” [Online]. Available: <http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/weather/photosynthetically-active-radiation/>. [Acedido em 26 Novembro 2015].
- [12] Solargis, “Solar maps: Global Horizontal Irradiation”.
- [13] P. Azevedo, B. Durão e D. Berardino, “D5.1 Definition of technical components main functional characteristics,” Disseminação: Confidencial, 2014.
- [14] “solutions, Go green heat,” [Online]. Available: <http://gogreenheatsolutions.co.za/?q=project-type/solar-water-heating/flat-plate-collector>. [Acedido em 26 Novembro 2015].
- [15] B. Ramlow, Solar Water Heating, Canada: New Society Publishers, 2006.
- [16] volker-quaschning. [Online]. Available: <http://www.volker-quaschning.de/articles/fundamentals4/index.php>. [Acedido em 26 Novembro 2015].
- [17] “Solar Thermosyphon Heater System,” home, Solar Powering your, [Online]. Available: <http://www.solarpoweringyourhome.com/>. [Acedido em 26 Novembro 2015].
- [18] “Wind&Solar, Midwest,” [Online]. Available: <http://www.midwestwindandsolar.com/LearningCenter/LearningSolarThermal.aspx>. [Acedido em 26 Novembro 2015].
- [19] E. Lebeña e J. Costa, Conversão Térmica da Energia Solar, Sociedade Portuguesa de Energia Solar.
- [20] DGEG, “Despacho nº 17313/2008,” 2008.
- [21] “Portaria nº142/2011, Artigo 57º,” Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento, 2011.

- [22] W. O. University, “Energy From Fossil Fuels,” [Online]. Available: https://www.wou.edu/las/physci/GS361/Energy_From_Fossil_Fuels.htm. [Acedido em 26 Novembro 2015].
- [23] A. e. Quercus, “Comunicado Quercus e APREN 2015,” 2015. [Online]. Available: http://www.apren.pt/fotos/editor2/2015_comunicado_quercus_e_apren.pdf. [Acedido em 09 12 2016].
- [24] REN, “Dados Técnicos 2013”.
- [25] GALP, “Equivalências energéticas e fatores de emissão de CO2 dos combustíveis”.
- [26] Microgreening, “Condensing Boilers,” [Online]. Available: <http://www.microgreening.com/>. [Acedido em 26 Novembro 2015].
- [27] “APREN,” [Online]. Available: <http://www.apren.pt/pt/dados-tecnicos-3/dados-nacionais-2/producao-2/a-producao-de-electricidade-em-portugal-3/producao-de-eletricidade-por-fonte-em-2015/>. [Acedido em 31 Agosto 2016].
- [28] “APREN,” [Online]. Available: <http://www.apren.pt/pt/dados-tecnicos-3/dados-nacionais-2/producao-2/a-producao-de-electricidade-em-portugal-3/peso-da-eletricidade-de-origem-renovavel/>. [Acedido em 31 Agosto 2016].
- [29] C. Europeia, “Fontes de energia renovável, fontes de desenvolvimento sustentável”.
- [30] “National Physical Laboratory,” [Online]. Available: http://www.kayelaby.npl.co.uk/general_physics/2_3/2_3_7.html. [Acedido em 26 Novembro 2015].
- [31] “DISTERM,” [Online]. Available: http://www.disterm.pt/files/_55_Isolamentos_52611da9d5bc1.pdf. [Acedido em 26 Novembro 2015].
- [32] R. Castro, Uma Introdução às Energias Renováveis, IST Press, 2011.

7 Anexos

7.1 Ficha técnica dos termoacumuladores

Características Técnicas

Modelo	Volume (lt)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Pot. Permutadores (kW)	Peso (kg)
Termoacumuladores Eléctricos					
THK E 12	120	900	520		52
THK E 15	150	1040	520		60
THK E 20	200	1310	520		65
Termoacumuladores Solar (2 serp.)					
THK 2S 015	150	1070	555	15/25	70
THK 2S 020	200	1340	555	18/29	85
THK 2S 030	300	1410	650	21/53	160
THK 2S 040	400	1460	750	27/62	190
THK 2S 050	500	1710	750	34/72	215
THK 2S 075	750	2050	950	50/80	320
THK 2S 100	1000	2050	1050	62/105	392
THK 2S 150	1500	2240	1200	74/131	590
Depósitos de Inércia (s/ serp.)					
THK I 50	500	1670	850		110
THK I 80	800	1860	990		130
THK I 100	1000	2040	990		150
THK I 150	1500	2170	1200		230
THK I 200	2000	2200	1350		270
Depósitos de Inércia (1 serp.)					
THK IS 50	500	1670	850	1,7	130
THK IS 80	800	1860	990	2,9	170
THK IS 100	1000	2040	990	3,0	290
THK IS 150	1500	2170	1200	3,4	270
THK IS 200	2000	2200	1350	4,0	320
Depósitos Combinados (2 serp.)					
THK B2S 060/15	600/150	1870	850	1,6/...	200
THK B2S 080/20	800/200	1910	990	2,3/...	250
THK B2S 100/20	1000/200	2090	990	2,5/...	370
THK B2S 150/30	1500/300	2220	1200	3,9/...	400

7.3 Ficha técnica da caldeira de condensação

MAXICONDAQUA

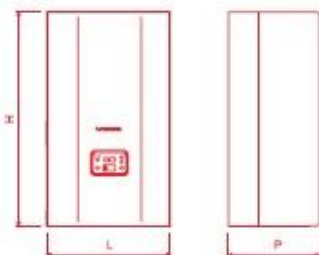


Caldeira Mural de Condensação

COM QUEIMADOR DE PRÉ-MISTURA MODULANTE PARA AQUECIMENTO COM POSSIBILIDADE PARA PRODUÇÃO DE A.Q.S. CALDEIRA DO TIPO MODULAR HOMOLOGADA COM POSSIBILIDADE DE GESTÃO EM CASCATA.

CLASSE DE RENDIMENTO ENERGÉTICO: ★★★★★

- Produção de água quente para aquecimento e com possibilidade de produção de A.Q.S.
- Queimador de pré-mistura com ventilador de velocidade variável e válvula de gás pneumática.
- Câmara de combustão aberta (tipo B) com recuperador de condensados integrado.
- Permutador cilíndrico com serpentina em espiral do tipo corrugado bimetalico (interior em cobre, exterior em aço inox) com uniões em alumínio.
- Pressão máxima de trabalho: 6 bar.
- Homologado como caldeira modular que mediante acessórios pode ser ligada em cascata.
- Rendimento Classe ★★★★★ (Directiva 92/42/CEE)
 - Potência nominal (50°C - 30°C, ref. P.C.I.): 107,7%
 - Potência nominal (80°C - 60°C, ref. P.C.I.): 98,2%
 - a 30% da potência nominal (50°C - 30°C, ref. P.C.I.) 108,7%
- Baixas emissões contaminantes: CO <120ppm, Nox < 20ppm (classe 5, segundo EN 297).
- Campo de trabalho de aquecimento regulável entre 20°C e 80°C.
- Temperatura de saída de fumos: temp. retorno + 5°C.
- Comprimento equivalente de descarga de fumos: até 30m com Ø 50mm.
- Quadro de gestão electrónico com função de controlo de chama.
- Caldeira master com painel de comandos para o utilizador.
- Regulação climática com temperatura variável mediante sonda exterior (sonda incluída).
- Gestão electrónica para ligação em cascata, de série.
- Controlo climático para 1 zona de circuito directo + 1 zona de circuito com válvula de mistura para piso radiante.
- Possibilidade de controlo e gestão de um acumulador de A.Q.S. remoto com sonda de temperatura (sonda incluída).
- Funcionamento em GN convertível a GPL (kit incluído no equipamento).
- Possibilidade de controlo remoto (acessório) para o controlo e a gestão à distância da caldeira (máx 100m).



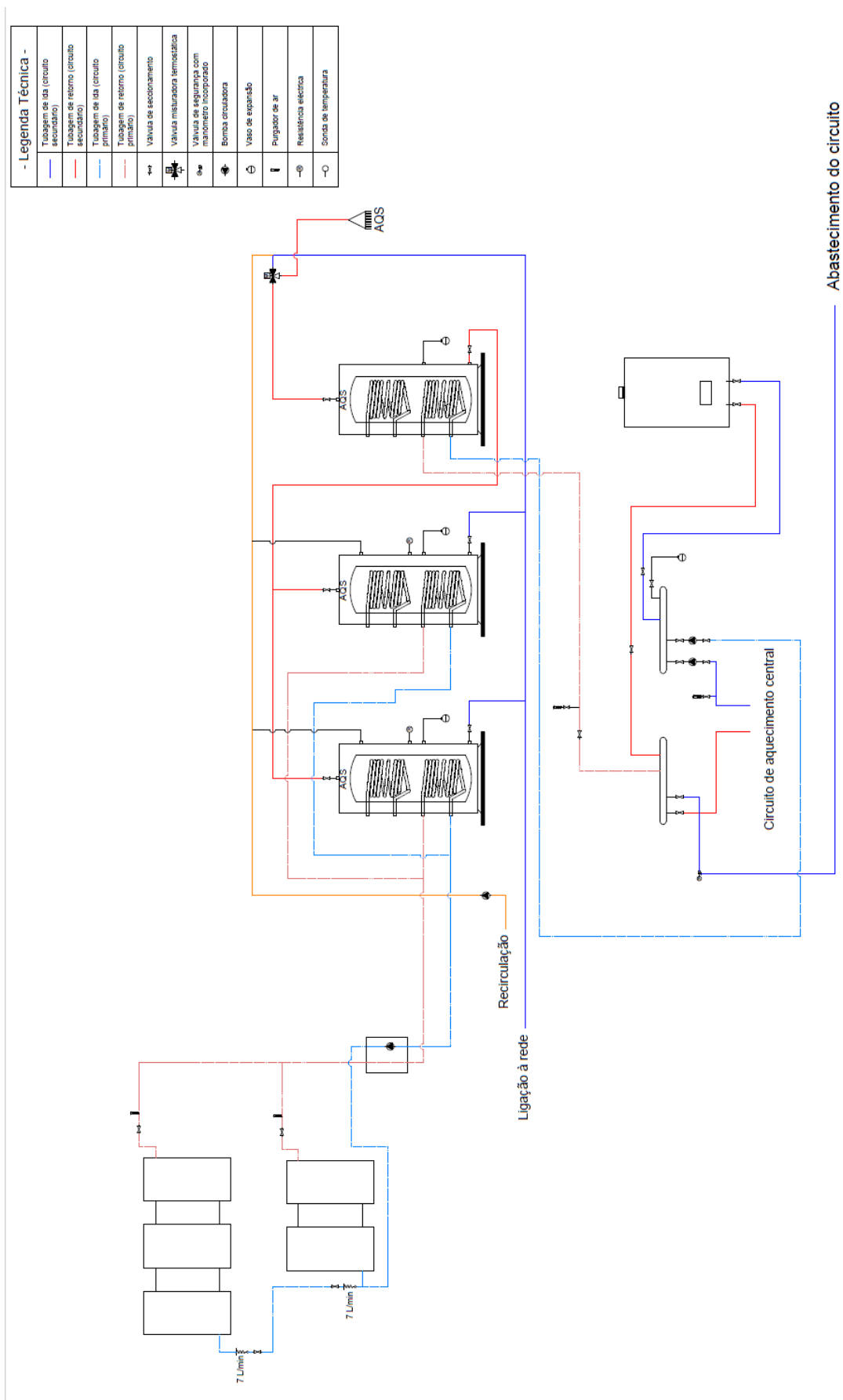
Caldeira Mural MAXICONDAQUA

CÓDIGO	ARTIGO	kW (P _{nominal})	kW (P _{útil})	PREÇO (€)	COMBUSTÍVEL	L(mm)	P(mm)	H (mm)	PESO(kg)
06041405	MAXICONDAQUA 45 MD	34,8	37,6	3.786,00	Gás Natural/GPL	600	380	1000	60
06041410	MAXICONDAQUA 45 M	45,0	48,5	4.789,00	Gás Natural/GPL	600	380	1000	60
06041415	MAXICONDAQUA 90 SD	69,6	75,2	4.266,00	Gás Natural/GPL	600	380	1000	90
06041420	MAXICONDAQUA 90 M	90	96,4	7.856,00	Gás Natural/GPL	600	380	1000	90
06041425	MAXICONDAQUA 90 S	90	96,4	7.076,00	Gás Natural/GPL	600	380	1000	90

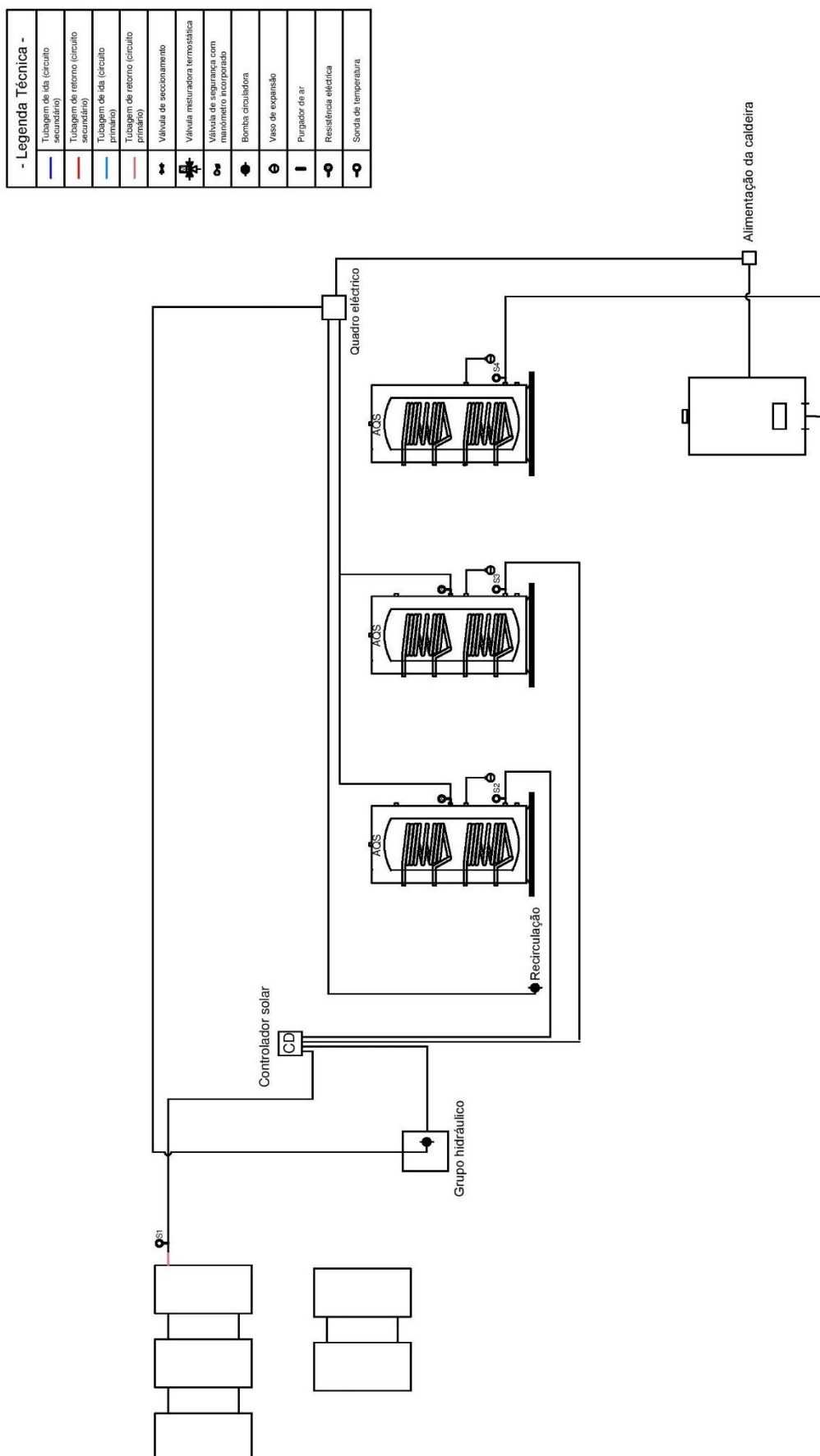
ACESSÓRIOS

CÓDIGO	ARTIGO	PREÇO (€)	NOTAS
06009072	Kit controlo remoto	624,00	Distância máxima 100 m
06059012	Kit coletor de fumos	572,00	Falange DN 125mm - Comprim. equivalente máximo: 25 m (com potência nominal 360 kW)
06059014	Kit drenagem de condensados	232,00	1 por cada saída de fumos - DN 125 mm
06059016	Kit hidráulico <90 kW	701,00	
06059018	Kit hidráulico >90 kW	2.295,00	
06059020	Kit bomba de caldeira	438,00	
06049002	Kit transformação estanque 45	82,00	
06049004	Kit transformação estanque 90	123,00	

7.4 Esquema hidráulico da instalação



7.5 Esquema elétrico da instalação



7.6 Tabelas da Análise Financeira para o Cenário 1

Tabela 7.1 – Análise financeira para o cenário 1 base

Ano	ca1 (€)	ca2 (€)	Nec gasol (kWh)	Nec GN (kWh)	canuais gasoleo (€)	custos anuais GN (€)	Proveitos (€)	Cash-flow (€)	Cash-flow acumulado (€)	Cash-flow atualizado (€)	Cash-flow atualizado acumulado (€)
0	9917,49	-	-	-	-	-	-	-9917,49	-9917,49	-9917,49	-9917,49
1	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	-9206,31	690,46	-9227,03
2	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	-8495,13	670,35	-8556,67
3	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	-7783,95	650,83	-7905,84
4	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	-7072,77	631,87	-7273,97
5	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	-6361,60	613,47	-6660,50
6	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	-5650,42	595,60	-6064,90
7	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	-4939,24	578,25	-5486,64
8	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	-4228,06	561,41	-4925,23
9	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	-3516,88	545,06	-4380,17
10	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	-2805,70	529,18	-3850,99
11	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	-2094,52	513,77	-3337,22
12	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	-1383,34	498,81	-2838,41
13	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	-672,16	484,28	-2354,13
14	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	39,01	470,17	-1883,96
15	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	750,19	456,48	-1427,48
16	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	1461,37	443,18	-984,30
17	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	2172,55	430,27	-554,02
18	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	2883,73	417,74	-136,28
19	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	3594,91	405,58	269,29
20	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8140,13	968,18	711,18	4306,09	393,76	663,06

Alteração de fonte energética no aquecimento central e produção de AQS numa unidade de cuidados continuados

Tabela 7.2 – Análise financeira para o cenário 1 com aumento de 10% no preço do gás natural

Ano	ca1 (€)	ca2 (€)	Nec gasol (kWh)	Nec GN (kWh)	canuais gasoleo (€)	custos anuais GN (€)	Proveitos (€)	Cash-flow (€)	Cash-flow acumulado (€)	Cash-flow atualizado (€)	Cash-flow atualizado acumulado (€)
0	9917,49	-	-	-	-	-	-	-9917,49	-9917,49	-9917,49	-9917,49
1	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-10020,32	-99,84	-10017,33
2	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-10123,16	-96,93	-10114,26
3	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-10225,99	-94,11	-10208,37
4	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-10328,83	-91,37	-10299,73
5	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-10431,66	-88,71	-10388,44
6	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-10534,49	-86,12	-10474,56
7	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-10637,33	-83,61	-10558,17
8	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-10740,16	-81,18	-10639,35
9	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-10842,99	-78,81	-10718,17
10	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-10945,83	-76,52	-10794,68
11	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-11048,66	-74,29	-10868,97
12	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-11151,50	-72,13	-10941,10
13	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-11254,33	-70,02	-11011,12
14	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-11357,16	-67,99	-11079,11
15	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-11460,00	-66,01	-11145,11
16	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-11562,83	-64,08	-11209,20
17	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-11665,67	-62,22	-11271,41
18	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-11768,50	-60,40	-11331,82
19	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-11871,33	-58,64	-11390,46
20	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	8954,14	172,17	-102,83	-11974,17	-56,94	-11447,40

Alteração de fonte energética no aquecimento central e produção de AQS numa unidade de cuidados continuados

Tabela 7.3 – Análise financeira para o cenário 1 com decréscimo de 10% no preço do gás natural

Ano	ca1 (€)	ca2 (€)	Nec gasol (kWh)	Nec GN (kWh)	canuais gasoleo (€)	custos anuais GN (€)	Proveitos (€)	Cash-flow (€)	Cash-flow acumulado (€)	Cash-flow atualizado (€)	Cash-flow atualizado acumulado (€)
0	9917,49	-	-	-	-	-	-	-9917,49	-9917,49	-9917,49	-9917,49
1	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	-8392,30	1480,77	-8436,72
2	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	-6867,11	1437,64	-6999,08
3	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	-5341,92	1395,77	-5603,32
4	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	-3816,72	1355,11	-4248,20
5	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	-2291,53	1315,64	-2932,56
6	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	-766,34	1277,32	-1655,24
7	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	758,85	1240,12	-415,11
8	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	2284,04	1204,00	788,89
9	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	3809,23	1168,93	1957,82
10	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	5334,43	1134,89	3092,70
11	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	6859,62	1101,83	4194,53
12	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	8384,81	1069,74	5264,27
13	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	9910,00	1038,58	6302,85
14	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	11435,19	1008,33	7311,19
15	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	12960,38	978,96	8290,15
16	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	14485,58	950,45	9240,60
17	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	16010,77	922,77	10163,36
18	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	17535,96	895,89	11059,25
19	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	19061,15	869,80	11929,05
20	-	275,00	75265,27	106985,82	9126,31	7326,11	1800,19	1525,19	20586,34	844,46	12773,51

7.7 Tabelas da Análise Financeira para o Cenário 2

Alteração de fonte energética no aquecimento central e produção de AQS numa unidade de cuidados continuados

Tabela 7.4 – Análise financeira para o cenário 2 base (40 ocupantes)

Ano	ca1 (€)	ca2 (€)	Nec gasol (kWh)	Nec GN (kWh)	canuais gasoleo (€)	custos anuais GN (€)	Proveitos (€)	Cash-flow (€)	Cash-flow acumulado (€)	Cash-flow atualizado (€)	Cash-flow atualizado acumulado (€)
0	15854,70	-	-	-	-	-	-	-15854,70	-15854,70	-15854,70	-15854,70
1	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	-14367,24	1444,13	-14410,57
2	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	-12879,78	1402,07	-13008,49
3	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	-11392,33	1361,23	-11647,26
4	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	-9904,87	1321,59	-10325,67
5	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	-8417,41	1283,09	-9042,58
6	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	-6929,95	1245,72	-7796,86
7	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	-5442,49	1209,44	-6587,42
8	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	-3955,04	1174,21	-5413,20
9	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	-2467,58	1140,01	-4273,19
10	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	-980,12	1106,81	-3166,38
11	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	507,34	1074,57	-2091,81
12	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	1994,79	1043,27	-1048,54
13	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	3482,25	1012,89	-35,65
14	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	4969,71	983,38	947,73
15	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	6457,17	954,74	1902,48
16	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	7944,63	926,93	2829,41
17	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	9432,08	899,94	3729,35
18	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	10919,54	873,72	4603,07
19	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	12407,00	848,28	5451,35
20	-	275,00	75265,27	96783,18	9126,31	7363,85	1762,46	1487,46	13894,46	823,57	6274,92

Tabela 7.5 – Análise financeira para o cenário 2 com 20 ocupantes

Ano	ca1 (€)	ca2 (€)	Nec gasol (kWh)	Nec GN (kWh)	canuais gasoleo (€)	custos anuais GN (€)	Proveitos (€)	Cash-flow (€)	Cash-flow acumulado (€)	Cash-flow atualizado (€)	Cash-flow atualizado acumulado (€)
0	12798,15	-	-	-	-	-	-	-12798,15	-12798,15	-12798,15	-12798,15
1	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-11942,37	830,85	-11967,30
2	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-11086,60	806,65	-11160,65
3	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-10230,82	783,16	-10377,49
4	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-9375,04	760,35	-9617,15
5	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-8519,27	738,20	-8878,94
6	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-7663,49	716,70	-8162,25
7	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-6807,72	695,82	-7466,42
8	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-5951,94	675,56	-6790,86
9	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-5096,16	655,88	-6134,98
10	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-4240,39	636,78	-5498,20
11	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-3384,61	618,23	-4879,97
12	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-2528,83	600,22	-4279,75
13	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-1673,06	582,74	-3697,01
14	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	-817,28	565,77	-3131,24
15	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	38,50	549,29	-2581,95
16	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	894,27	533,29	-2048,66
17	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	1750,05	517,76	-1530,90
18	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	2605,82	502,68	-1028,22
19	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	3461,60	488,04	-540,18
20	-	275,00	37631,37	45109,77	4563,00	3432,22	1130,78	855,78	4317,38	473,82	-66,36

Tabela 7.6 – Análise financeira para o cenário 2 com 60 ocupantes

Ano	ca1 (€)	ca2 (€)	Nec gasol (kWh)	Nec GN (kWh)	canais gaseoleo (€)	custos anuais GN (€)	Proveitos (€)	Cash-flow (€)	Cash-flow acumulado (€)	Cash-flow atualizado (€)	Cash-flow atualizado acumulado (€)
0	15854,70	-	-	-	-	-	-	-15854,70	-15854,70	-15854,70	-15854,70
1	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	-13789,48	2005,07	-13849,63
2	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	-11724,27	1946,67	-11902,97
3	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	-9659,05	1889,97	-10013,00
4	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	-7593,83	1834,92	-8178,08
5	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	-5528,61	1781,47	-6396,61
6	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	-3463,40	1729,59	-4667,02
7	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	-1398,18	1679,21	-2987,81
8	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	667,04	1630,30	-1357,51
9	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	2732,25	1582,82	225,31
10	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	4797,47	1536,72	1762,02
11	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	6862,69	1491,96	3253,98
12	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	8927,91	1448,50	4702,48
13	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	10993,12	1406,31	6108,79
14	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	13058,34	1365,35	7474,14
15	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	15123,56	1325,58	8799,73
16	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	17188,78	1286,98	10086,70
17	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	19253,99	1249,49	11336,19
18	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	21319,21	1213,10	12549,29
19	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	23384,43	1177,76	13727,06
20	-	275,00	112896,64	1491161,26	13689,31	11349,09	2340,22	2065,22	25449,64	1143,46	14870,52